

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал
по строительству и архитектуре

Том 18 Выпуск 1/2023
Vol. Issue

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction
and Architecture

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

**Том 18. Выпуск 1
2023**

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

Сквозной номер 170

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction and Architecture

**Volume 18. Issue 1
2023**

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

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

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

Тематические рубрики

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

Наименование органа, зарегистрировавшего издание:	Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-63119 от 18 сентября 2015 г.
ISSN	1997-0935 (Print) 2304-6600 (Online)
Периодичность:	12 раз в год
Учредители:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26; Общество с ограниченной ответственностью «Издательство АСВ», 129337, Москва, Ярославское ш., д. 19, корп. 1.
Выходит при научно-информационной поддержке:	Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), Международной общественной организации содействия строительному образованию — АСВ.
Издатель:	ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». Издательство МИСИ – МГСУ 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26. Сайт: www.mgsu.ru E-mail: journals@mgsu.ru
Типография:	Типография Издательства МИСИ – МГСУ 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26 корп. 8. Тел.: (499) 183-91-44, 183-67-92, 183-91-90
Сайт журнала:	http://vestnikmgsu.ru
E-mail:	journals@mgsu.ru
Тел.:	(495) 287-49-14, доб. 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	27.01.2023.
Подписан в свет	31.01.2023.

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 17,56. Тираж 100 экз. (1-й завод 50 экз.). Заказ № 39

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 Российской академии архитектуры и строительных наук, ректор, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Станислав Емиоло, д-р техн. наук, проф., зав. каф. сопротивления материалов, теории упругости и пластичности,

Варшавский технологический университет, инженерно-строительный факультет, Республика Польша

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакция журнала

Выпускающий редактор: *Анна Александровна Дядичева*

Редактор: *Татьяна Владимировна Бердникова*

Перевод на английский язык: *Ольга Валерьевна Юденкова*

Корректор: *Оксана Валерьевна Ермихина*

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., и.о. зав. каф. металлических и деревянных конструкций, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Редакционный совет

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction and Architecture

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

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

Thematic sections

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

ISSN	1997-0935 (Print) 2304-6600 (Online)
Publication Frequency:	Monthly
Founders:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337; Limited Liability Company “ASV Publishing House”, 19, building 1 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337.
The Journal enjoys the academic and informational support provided by	The Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), International public organization of assistance to construction education (ASV)
Publisher:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337 Website: www.mgsu.ru E-mail: journals@mgsu.ru
Printing House:	Printing house of the Publishing house MISI – MGSU building 8, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337 tel. (499) 183-91-44, 183-67-92, 183-91-90.
Website journal:	http://vestnikmgsu.ru
E-mail:	vestnikmgsu@mgsu.ru , journals@mgsu.ru
Subscription:	Citizens of the CIS and other foreign countries can subscribe by catalog agency “Informnauka”, magazine subscription index 18077.
Signed for printing:	27.01.2023

Distributed by subscription

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

Editor-in-Chief

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

Deputy Editor-in-Chief

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

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

Editorial Board

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

Piotr Banaszuk, Bialystok University of Technology, Republic of Poland

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Roode Liias, Tallin University of Technology, Estonia

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

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

Miroslav Premrov, University of Maribor, Republic of Slovenia

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

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

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

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

Josef Vichan, University of Zilina, Slovak Republic

Joost Walraven, Delft University of Technology, Netherlands

Zbigniew Wojcicki, Wrocław University of Technology, Republic of Poland

Editorial team of issues

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

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

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

Chairman of the Editorial Board

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

Editorial Council

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

Р.В. Силин, Е.Е. Корбут

Разработка методики и оценка качества функционального зонирования территории парков больших городов Беларуси. 11

А.И. Гиясов

Биоклиматическое районирование — предпосылка для архитектурно-строительного и градостроительного проектирования, планирование территорий. 24

Е.А. Швецова-Шиловская

Реконструкция Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря в условиях увеличения числа паломников и туристов 36

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

В.В. Тур, А.П. Воробей

Сопротивление срезу самонапряженных элементов без поперечного армирования с продольными стержнями из полимерных композитов. Теоретические основы расчетной модели 45

А.А. Лунёв

Формирование главных напряжений от действия внешней нагрузки в песчаном грунте и золошлаковой смеси 59

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

М.А. Дмитриева, А.Д. Козай, В.Н. Лейцин, А.О. Товпинец, М.В. Шиняева

Экспериментально-теоретический подход оценки структуры мелкозернистых модифицированных бетонов. 70

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А.А. Фролова, П.И. Лухменёв

Расчет уровня энергетически целесообразной теплозащиты. 82

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А.Н. Ларионов, В.В. Соловьев, А.А. Морозов

Формирование модели капитальных затрат в реалиях цифровизации строительства 91

С.Б. Сборщиков, Н.В. Лазарева

Рейнжиниринг процессов материально-технического обеспечения как основа формирования и функционирования логистических центров в строительстве 102

А.А. Лapidус, Р.В. Мотылев, В.В. Сокольников

Формирование методологии детерминированной модели организации строительного производства на основе концепции организационно-технологической платформы строительства 116

Д.С. Мошкaлёв, А.Р. Бахтизина

Методы и инструменты управления стоимостью строительства на предпроектном этапе жизненного цикла объекта капитального строительства 132

Требования к оформлению научной статьи 143

CONTENTS

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION AND REFURBISHMENT

Ruslan V. Silin, Elena E. Korbut

Functional zoning of park territories in large cities of Belarus: development of methods and quality assessment 11

Adham I. Giyazov

Bioclimatic zoning as a prerequisite for architectural and structural design, urban and area-wide planning. 24

Elizaveta A. Shvetsova-Shilovskaya

Reconstruction of the Holy Trinity Zelenetsky monastery in the context of an increasing number of pilgrims and tourists 36

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

Viktar V. Tur, Aliaksandr P. Varabei

Shear resistance of self-stressed elements without transverse reinforcement and with longitudinal bars made of polymer composites. Theoretical background 45

Aleksandr A. Lunev

Prediction of principal stresses from external loads in sandy soils and ash-slag mixtures 59

CONSTRUCTION MATERIAL ENGINEERING

Maria A. Dmitrieva, Alina D. Kogai, Vladimir N. Leitsin,

Aleksandr O. Tovpinets, Maria V. Shinyaeva

An experimental and theoretical approach to assessing the structure of fine-grained modified concretes. 70

ENGINEERING SYSTEMS IN CONSTRUCTION

Anastasiya A. Frolova, Pavel I. Lukhmenev

Calculation of the level of energy efficient heat protection 82

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION. ECONOMICS AND MANAGEMENT IN CONSTRUCTION

Arkadij N. Larionov, Vyacheslav V. Solovlev, Alexander A. Morozov

Development of a capital expenditure model in the context of construction digitalization 91

Sergey B. Sborshikov, Natalia V. Lazareva

Reengineering of logistics processes as the basis for the establishment and operation of logistics centres in the construction industry 102

Azariy A. Lapidus, Roman V. Motylev, Vladimir V. Sokolnikov

Development of a methodology underlying a deterministic model of construction work arrangements on the basis of the concept of an organizational and technological platform for construction 116

Dmitrii S. Moshkalev, Aliya R. Bakhtizina

Methods and tools of a construction cost management system at the pre-project lifecycle stage of a construction facility. 132

Requirements for research paper design 143

ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ТЕМАТИКА ЖУРНАЛА. РЕДАКЦИОННАЯ ПОЛИТИКА

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

Тематический охват соответствует научным специальностям:

- 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки);
- 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки);
- 2.1.4. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки);
- 2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки);
- 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология (технические науки);
- 2.1.7. Технология и организация строительства (технические науки);
- 2.1.9. Строительная механика (технические науки);
- 2.1.10. Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки);
- 2.1.11. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура);
- 2.1.11. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (технические науки);
- 2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура);
- 2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (технические науки);
- 2.1.13. Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (технические науки);
- 2.1.13. Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (архитектура);
- 2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки).

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

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

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

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

AIMS AND SCOPE. EDITORIAL BOARD POLICY

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

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

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

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

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

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

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

объявляет о возможности подготовки диссертации на соискание ученой степени доктора наук на тему:
«Методология формирования стратегии инновационного развития крупных предприятий
инвестиционно-строительной сферы».

Конкурсный отбор состоится на заседании Научно-технического совета
НИУ МГСУ 21.02.2023 г. в 14.00.

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

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 711.5

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.11-23

Разработка методики и оценка качества функционального зонирования территории парков больших городов Беларуси

Руслан Владимирович Силин, Елена Евгеньевна Корбут

Белорусско-Российский университет; г. Могилев, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. Некоторые городские парки Беларуси из-за изменившихся требований населения к формам и условиям досуга, а также под воздействием факторов, обусловленных сменой экономической модели развития общества, стали менее привлекательными и нуждаются в реконструкции. Цель исследования — создание и апробация методики оценки качества функционального зонирования территорий городских парков по параметрам, поддающимся количественной оценке.

Материалы и методы. На базе комплексного подхода выделены количественно измеряемые параметры, влияющие на комфортность парковой среды. Для оценки уровня их влияния использован графоаналитический метод на основе планограмм. С целью выявления критериев оценки качества зонирования территории парков анализировались имеющиеся в открытых источниках руководства по проектированию и мастер-планы парков. Сведения о сложившемся функциональном зонировании парков на предварительном этапе исследования получены в результате изучения спутниковых снимков, взятых на ресурсе Google Earth Engine Explorer, и в последующем уточнены путем натурных обследований.

Результаты. Определена система критериев оценки качества размещения зон и построена методика. В ее основу положен тот факт, что планограммы влияния различных факторов на территорию парка представляют собой ненулевые двумерные матрицы, что позволило производить с ними операции математического суммирования в соответствии с заданным набором критериев. Проведена оценка с помощью разработанной методики качества сложившегося функционального зонирования территорий парков восьми больших городов Беларуси.

Выводы. Разработанная методика оценки качества размещения функциональных зон существующих городских парков предлагается для повышения обоснованности принимаемых решений при разработке архитектурно-планировочных концепций реконструируемых парков, а также как составная часть комплексных оценок комфортности парковой среды при принятии управленческих решений по развитию рекреационных территорий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: многофункциональный городской парк, функциональное зонирование территории парка, размещение рекреационных зон, методика оценки качества функционального зонирования территории парка

Благодарности. Авторы выражают благодарность доктору технических наук, профессору Виталию Федоровичу Касьянову за высказанные ценные советы, касающиеся первой редакции текста данной статьи.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Силин Р.В., Корбут Е.Е. Разработка методики и оценка качества функционального зонирования территории парков больших городов Беларуси // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 1. С. 11–23. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.11-23

Автор, ответственный за переписку: Руслан Владимирович Силин, silinruslan1@gmail.com.

Functional zoning of park territories in large cities of Belarus: development of methods and quality assessment

Ruslan V. Silin, Elena E. Korbut

Belarusian-Russian University; Mogilev, Republic of Belarus

ABSTRACT

Introduction. In Belarus, some urban parks are less attractive for visitors and need reconstruction due to the new requirements for specific types and conditions of recreation, which have changed over the last decades due to the influence of factors triggered by a change in the economic model of societal development. The task of functional zoning is solved when a park reconstruction project is developed. Decisions concerning the recreational and other areas have an important impact on park design stages and play an important role in developing comfortable park environments. The purpose of the study is to build and validate a methodology for assessing the quality of functional zoning of urban parks using quantifiable factors.

Materials and methods. Quantifiable factors, that have a considerable impact on the comfort of park environments, were identified using an integrated approach. A planogram-based graphic-analytical method was used to assess the intensity of this impact. To identify the criteria for assessing the quality of park zoning, publicly available design guidelines and master plans of parks were analyzed. Information about current functional zoning of parks was obtained at the preliminary stage of the study by examining satellite images downloaded from the Google Earth Engine Explorer resource; this information was subsequently clarified using surveying methods.

Results. A need to take into account a number of quantifiable factors, influencing the comfort of environments, accompanies the process of developing a functional zoning pattern for multifunctional urban parks. Hence, we had an idea to develop a methodology for the functional zoning quality assessment. For this purpose, a system of criteria for assessing the quality of functional zones and an assessment methodology were developed. The methodology stems from the fact that a planogram of influence of various factors on park territories represents a nonzero two-dimensional matrix, which helps perform mathematical summation operations in furtherance of a given set of criteria. The new methodology was used to assess the quality of current functional zoning of urban parks in eight large Belarusian cities.

Conclusions. The methodology developed for the quality assessment of current functional zoning of urban parks confirms the validity of design solutions, and it can be used at the pre-project stage to improve the validity of solutions in the process of developing architectural and planning concepts of parks aimed at their reconstruction. It can also serve as a component of comprehensive assessments of comfort in the park environments when management decisions are made in terms of recreational areas.

KEYWORDS: multifunctional urban park, park functional zoning, methodology of quality assessment of park functional zoning

Acknowledgements. The authors express their gratitude to Doctor of Technical Sciences, Professor Vitaly Fedorovich Kasyanov for his valuable advice regarding the first version of the text of this article.

FOR CITATION: Silin R.V., Korbut E.E. Functional zoning of park territories in large cities of Belarus: development of methods and quality assessment. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(1):11-23. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.11-23 (rus.).

Corresponding author: Ruslan V. Silin, silinruslanl@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Многофункциональные парки сегодня продолжают оставаться наиболее популярными ландшафтно-рекреационными объектами городов Беларуси и России. Однако смена экономической модели развития страны, произошедшая после распада советского блока, повлекла изменения во взглядах жителей на условия отдыха и требовала корректировки подходов к проектированию парков. Наступивший короткий период тотальной коммерциализации всех сторон жизни общества, к сожалению, сказался на планировочной структуре городских парков тоже негативно. Сокращение площади парков из-за их застройки жилыми зданиями или коммерческими объектами еще более препятствовало выполнению городскими парками своей роли мест отдыха населения и источников экологических благ [1–8]. Эти явления стали одной из причин, приведших к разработке и утверждению в 2015 г. Советом Министров Республики Беларусь программы по наведению порядка на земле¹, в 2016 г. принятию государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда»², а в 2017 г. Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года³. Практическая реализация этих законодательных инициатив положительно сказывается на благоустройстве

городов Беларуси и соответствует целям общеевропейского устойчивого развития⁴.

В некоторых городах Республики Беларусь существуют отдельные парки, не соответствующие запросам населения на комфортный досуг. Одна из причин такого положения — стихийно сложившееся и потому не обеспечивающее комфорт посетителей функциональное зонирование территории парков. Ряд принятых к реализации, а также планируемых на республиканском и местном уровне программ по улучшению городской среды открывает возможности для реконструкции парков. Появляется возможность в ближайшие годы превратить городские парки Беларуси в действительно комфортные места отдыха населения. В связи с этим приобретает актуальность поиск подходов к планировке, позволяющих наиболее полно учесть разнообразные факторы, влияющие на комфорт парковой среды. Практикуемые в ландшафтной архитектуре методы сценарного [9, 10], соучаствующего [11, 12], конфликтологического [13, 14], тематического [15, 16] проектирования рассматривают функциональное зонирование территории парка в зависимости от архитектурного замысла, из-за чего вопросы комфортности среды для посетителей парка, формируемой эргономическими, санитарно-гигиеническими, геоморфологическими факторами, а также имеющимися на территории парка природными объектами, могут оказаться учтенными не в полной мере. Принимая это во внимание, а также учитывая тот

¹ О некоторых вопросах наведения порядка на земле : Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 21.05.2015 № 428 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <http://www.pravo.by/>

² Об утверждении Основных направлений государственной градостроительной политики Республики Беларусь на 2016–2020 годы : Указ Президента Республики Беларусь от 05.09.2016 № 334 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <http://www.pravo.by/>

³ Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года : протокол заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь от 02.05.2017 № 10. URL: <http://www.economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf>

⁴ The European Spatial Development Perspective (ESDP): The Council of Europe Conference of Ministers responsible for Regional Planning, May 1999 // Electronic fund of legal and regulatory and technical documentation. URL: <http://europa.eu.int>

факт, что вышеперечисленные параметры поддаются количественной оценке, была поставлена цель разработать методику, позволяющую дифференцировать территорию парка на участки, отличающиеся уровнем комфортности для каждого из занятий, практикуемых посетителями парков — тихого отдыха, активного отдыха, массовых мероприятий, детских игр, и затем оценить качество сложившегося зонирования территории парков ряда больших городов Беларуси.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Инструментом построения методики послужил графоаналитический метод, основанный на применении планов, как наиболее наглядно отражающий картину влияния факторов на изучаемую территорию [17–19]. В связи с отсутствием генеральных планов большинства из выбранных для исследования городских многофункциональных парков для сбора информации об их планировочной структуре использован метод натурного обследования и анализ спутниковых снимков программными средствами QGIS и Google Earth Engine Explorer. С помощью анализа литературных источников по теме исследования, руководств по проектированию парков и мастер-планов парков ряда зарубежных городов выявлены критерии оценки качества функционального зонирования.

Под понятием «качество функционального зонирования» понимается комплексная оценка размещения функциональных зон на территории парка по набору критериев комфортности парковой среды. Под комфортной парковой средой подразумеваются «благоприятные условия жизнедеятельности» для посетителей парков (Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 № 52-ФЗ). Используемый в статье термин «многофункциональный парк» соответствует СП 475.1325800.2020 «Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения цели исследования решен ряд задач. Первой задачей стал поиск критериев оценки качества функционального зонирования территории парков, обеспечивающих комфортность парковой среды. На основе анализа литературных ис-

точников [20–27] и руководств по проектированию парков^{5, 6, 7, 8} в качестве критериев были отобраны рекомендации по зонированию, наиболее часто учитываемые при проектировании парков (табл. 1) для обеспечения комфортных условий среды. Критерии определялись для четырех парковых зон, присутствующих в большинстве многофункциональных парков больших городов Беларуси: зоны тихого отдыха (прогулочная зона), зоны активного отдыха (спорт, физкультура), зоны развлечений и массовых мероприятий, детской зоны. Иные рекреационные зоны в рассмотренных парках не выявлены. Некоторые из городских парков на момент обследования имели менее четырех зон отдыха.

Как видно из табл. 1, набор критериев, обуславливающих размещение функциональных зон на плане, определяется как происходящими в них процессами, так и внешними, и внутренними для парка факторами, влияющими на комфорт посетителей. По мнению авторов, представленный набор критериев может быть дополнен в том случае, если при зонировании территории парка будут выявлены новые, влияющие на комфорт среды, параметры, свойственные конкретной планировочной ситуации.

Второй задачей исследования было построение планов влияния факторов на территории парков, отобранных для исследования. В качестве объектов оценки выбраны: Парк культуры и отдыха (ПКиО) имени 30-летия ВЛКСМ, г. Барановичи, ПКиО г. Лиды, ПКиО им. Горького г. Борисова, ПКиО г. Бобруйска, ПКиО г. Новополоцка, ПКиО «Победа» г. Мозырь, ПКиО «Текстильщик» г. Орша, ПКиО им. Краснознаменной Днепровской флотилии г. Пинска. Спутниковые снимки данных парков получены в программе Google Earth Pro. После этого они вставлялись в качестве подложки таблиц в среде Microsoft Excel программного продукта Microsoft Office. Ячейки таблиц, наложенных на спутниковые изображения, заполнялись числами, обозначающими уровень влияния фактора на каждый «квадрат» территории парка. Сторона квадрата соответствовала 15 м по шкале масштаба спутникового снимка. Такой размер сетки квадратов выбран исходя из минимального размера парковой площадки, рекомендованного действующим в РФ нормативным документом по благоустройству территорий муниципальных образований⁹, а также рекомендациями

⁵ A guide to community park and recreation planning. For Oregon communities. March 2019. URL: <http://www.oregon.gov>

⁶ Parks and Recreation Comprehensive Plan Florence, Arizona. November 2019. URL: [Florence Parks and Recreation Comprehensive Plan.pdf \(florenceaz.gov\)](http://www.florenceaz.gov/Parks%20and%20Recreation%20Comprehensive%20Plan.pdf)

⁷ Herriman Parks, Recreation, Open Space, and Trails Master Plan. Adopted January 8, 2020. URL: [20-0108-ADOPTED-Herriman-Parks-Plan.pdf](http://www.herriman-nv.gov/Assets/Document%20Center/Planning%20and%20Development/Herriman-Parks-Plan.pdf)

⁸ Руденко И.Н., Еленская Н.А., Александров С.Б. и др. Руководство по проектированию парков. Минск : Белорусский государственный научно-исследовательский и проектный институт градостроительства, 1980. 140 с.

⁹ Об утверждении Методических рекомендаций по разработке норм и правил по благоустройству территорий муниципальных образований : приказ Министерства регионального развития Российской Федерации от 27.12.2011 № 613 (ред. от 17.03.2014).

Табл. 1. Критерии оценки качества функционального зонирования парка

Table 1. Criteria for assessing the quality of functional park zoning

Функциональная зона парка Park recreation area	Вид фактора Type of factors	Наименование критерия (рекомендации по размещению рекреационных зон парка) Criterion (recommendations on location of park recreational areas)	Номер матрицы Matrix No.
Зона тихого отдыха (прогулочная зона) Quiet recreation area (walking area)	Санитарно-гигиенический фактор Sanitation and hygiene factor	Защищенность от источников дискомфорта (магистральных улиц) Protection from sources of discomfort (main streets)	+K ₁
	Фактор близости природных объектов Factor of natural site proximity	Размещение в непосредственном контакте с природными объектами (растениями и водоемами) Location in direct contact with nature sites (plants and ponds)	+K ₂
	Эргономические факторы Ergonomic factors	Удаленность от зон активного отдыха, зоны развлечений и от участков наиболее интенсивного пешеходного движения (входов в парк) Remoteness from recreational areas, entertainment areas and from areas with most intensive pedestrian traffic (park entrances)	-K ₃
		Удаленность от хозяйственных построек Remoteness from park support facilities	-K ₄
Зона активного отдыха (спорт, физкультура) Active recreation area (sports, physical training)	Геоморфологический Geo-morphological	Равнинный рельеф участка Flat terrain of the park area	+K ₅
	Эргономические факторы Ergonomic factors	Отсутствие природных объектов или их малое количество Lack of or few nature sites	-K ₂
		Отсутствие хозяйственных построек на участке Lack of support facilities	-K ₄
Зона развлечений и массовых мероприятий Entertainment and public event area	Геоморфологический Geo-morphological	Равнинный рельеф участка Flat terrain of the park area	+K ₅
	Эргономические факторы Ergonomic factors	Близость к входам в парк Proximity to park entrances	+K ₃
		Отсутствие природных объектов или их малое количество Lack of or few nature sites	-K ₂
		Отсутствие хозяйственных построек на участке Lack of support facilities	-K ₄
Детская зона Children's area	Геоморфологический Geo-morphological	Равнинный рельеф участка Flat terrain of the park area	+K ₅
	Эргономические факторы Ergonomic factors	Близость к входам в парк Proximity to park entrances	+K ₃
		Отсутствие хозяйственных построек на участке Lack of support facilities	-K ₄

нормативных документов по благоустройству, действующими в Республике Беларусь^{10, 11}. При подборе шкалы оценки факторов комфортности парковой среды авторы исходили из того, что количества баллов в шкале должно быть достаточно для описания планограммы, содержащей наибольшее число объектов оценки. В процессе натурного обследо-

вания парков и изучения их спутниковых снимков таковой была установлена «Планограмма распределения природных объектов по территории». Для ее описания выбрана пятибалльная шкала, так как выделение большего количества объектов оценки и, соответственно, большего числа баллов требовало перейти от визуальной оценки спутниковых

¹⁰ Об утверждении Правил благоустройства и содержания населенных пунктов : утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.11.2012 № 1087.

¹¹ Методические рекомендации по проектированию «Правила проведения озеленения населенных пунктов» : утв. приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 20.04.2016 № 101. URL: <http://www.mas.by/ru/prikazy/>

снимков к применению специальных программных средств расчета индексов, используемых для оценки состояния растительности. Эта информация авторам представлялась избыточной для городских парков из-за их сравнительно небольшой площади. В связи с этим для построения планограмм применена пятибалльная шкала.

С целью оценки влияния транспортных коммуникаций на территорию парков использованы выводы, обоснованные в научном исследовании о влиянии ландшафтно-средозащитного озеленения на экологическое состояние городской среды [28]. В указанной работе установлено, что среди всех негативных факторов, создаваемых магистральными улицами (шум, вибрация, пыль, газообразные вредные вещества), дальше всего вглубь ландшафтного и средозащитного озеленения проникает шум. При этом было определено, что из-за низкой способности зеленых растений отражать звуковую волну снижение эквивалентного уровня шума внутри лесного массива преимущественно может быть достигнуто за счет удаления от источника звука и в меньшей степени зависит от плотности посадки и ее видового состава. Поэтому максимально сильное, равное пяти баллам, влияние транспортных магистралей на парк было присвоено «квадратам», смежным с транспортными коммуникациями. Каждый следующий «квадрат» территории по мере удаления от магистрали оценивался более низкой оценкой влияния (4, 3, 2, 1, 0).

Водоемы и озеленение включены в единую планограмму. Дифференциация водоемов по уровню их влияния на комфорт парковой среды не производилась в связи со сложностью данной оценки. Территориям, занятым водными поверхностями, во всех парках был присвоен максимальный балл 5.

Оценка качества покрывающей парки растительности произведена на основе изучения спутниковых снимков, предоставленных ресурсом QGIS и Google Earth Engine Explorer. Из-за небольших размеров территорий изучаемых парков (до 60 га), а также в связи с тем, что полученные таким образом оценки были уточнены по результатам натурных обследований парков, качество растительности на снимках оценивалось визуально без применения «вегетационного» индекса (NDVI) и других аналогичных индикаторов. Оценка насыщенности цвета крон растений и плотности зеленых массивов на спутниковом снимке производилась визуально по пятибалльной шкале. Пяти баллам соответствовала максимальная насыщенность окраски и максимальная плотность зеленого массива. Менее интенсивно окрашенные участки оценивались в 4 балла. Участки с разреженной растительностью или кустарником — 3 балла. Двумя баллами оценивалось травяное покрытие, а одним баллом — травяное покрытие в квадратах, прилегающих к магистральным улицам. В целях получения объективных

визуальных оценок для анализа отобраны снимки, выполненные в июне месяце одного календарного года при сходных погодных условиях и условиях освещенности. Полученные таким образом предварительные оценки качества растительности впоследствии уточнялись при натурном обследовании парков.

Для описания рельефа принята шкала, в которой плоской поверхности соответствовало 5 баллов, 0 баллов означало крутизну поверхности, равную 90 градусам. Балльная оценка иных углов уклона поверхности определялась пропорционально.

Близость участков к входам в парк оценивалась по пятибалльной шкале. Максимально оценивались «квадраты», расположенные на площадках, непосредственно примыкающих к входам в парк. Каждый последующий смежный квадрат получал более низкий балл.

На планограмме застройки парка зданиями участки, занятые зданиями, получили значения, равные 5 баллам. Участки, свободные от застройки, получили 0 баллов.

Результатом этого этапа работы стало описание влияния каждого фактора на территорию соответствующего парка с помощью планограмм, представляющих собой массивы данных — таблицы, являющиеся с математической точки зрения двумерными ненулевыми матрицами. Поэтому в дальнейшем в тексте статьи используется понятие матрица.

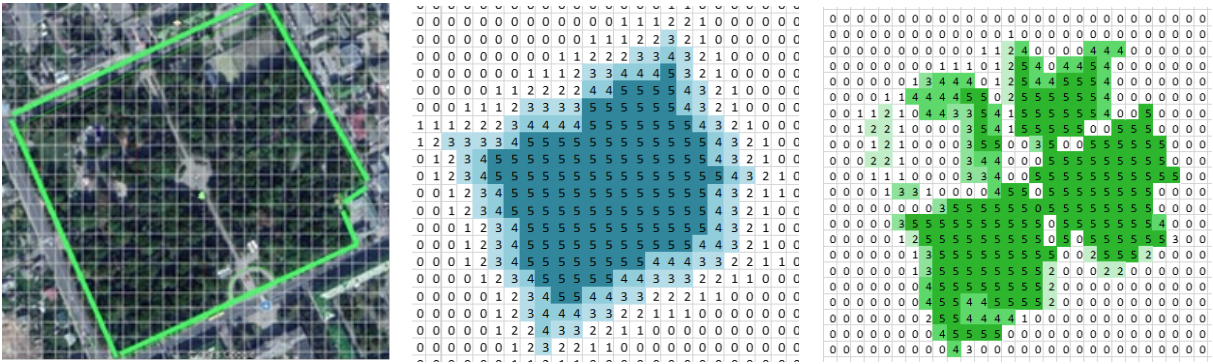
Так как для каждого парка все матрицы, описывающие влияние разных факторов на его территорию, имеют равную размерность, т.е. одинаковое количество столбцов и строк, то с ними на следующем этапе исследования в среде Microsoft Excel производились математические операции суммирования.

На рис. 1, 2 в качестве примера представлен исходный спутниковый снимок ПКЮ имени 30-летия ВЛКСМ в г. Барановичи, а также матрицы, описывающие уровень проявления факторов, влияющих на комфорт парковой среды.

Третьей задачей исследования стало построение матриц влияния группы факторов, определяющих комфортность среды в каждой рекреационной зоне парка. Эта задача была решена путем математического суммирования матриц влияния факторов на территорию парка. Для поиска участков парка, среда которых наиболее комфортна для размещения конкретной рекреационной зоны, суммировались матрицы, описывающие распределение по территории парка тех факторов, которые были нами определены в качестве значимых для комфортности посетителей данной рекреационной зоны (согласно перечню, приведенному в столбце 4 табл. 1).

Так, например, результирующая матрица благоприятности территории парка размещению зоны тихого отдыха (рис. 2) получена при суммировании матриц:

$$K_{QR} = K_1 + K_2 - K_3 - K_4, \quad (1)$$



Разбитый на квадраты 15 × 15 м спутниковый снимок участка парка г. Барановичи

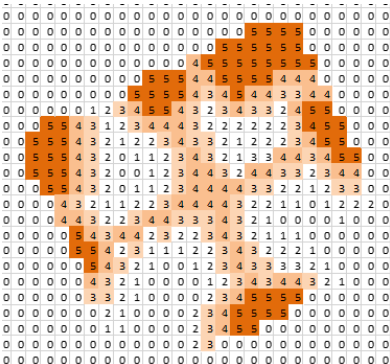
Satellite image of the Baranovichi park divided into grid squares of 15 × 15 m

Матрица защищенности территории парка от влияния магистральных улиц K_1

Matrix of park protection from noise coming from the main streets K_1

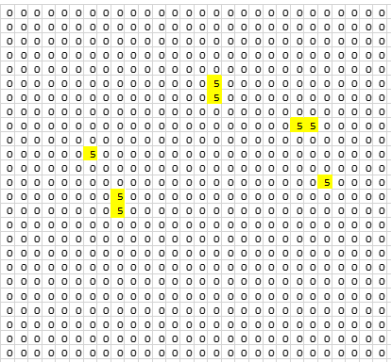
Матрица распределения природных объектов по территории парка K_2

Matrix of distribution of nature sites over the park area K_2



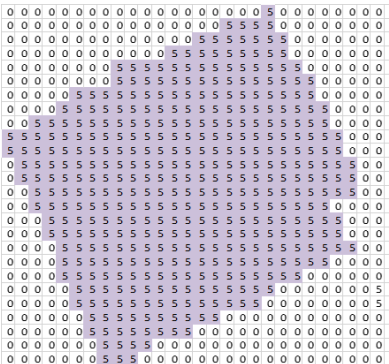
Матрица близости территорий к входам в парк K_3

Matrix of proximity of areas to park entrances K_3



Матрица размещения в парке административно-хозяйственных построек K_4

Matrix of distribution of support facilities in the park K_4



Матрица рельефа территории парка (рельеф плоский) K_5

Matrix of park terrain (the terrain is flat) K_5

Рис. 1. Исходный спутниковый снимок, а также планогаммы и построенные на них матрицы влияния факторов, определяющих комфортность парковой среды на территорию парка г. Барановичи
Fig. 1. Original satellite image, planograms and matrixes of influence of factors determining the comfort of the park environment on Baranovichi Park territory

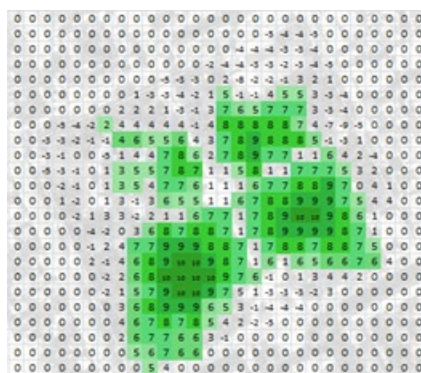
где K_{QR} — результирующая матрица благоприятности территории для размещения зоны тихого отдыха; K_1 — матрица защищенности территории парка от влияния магистральных улиц; K_2 — матрица размещения природных объектов; K_3 — матрица близости территорий к входам в парк; K_4 — матрица размещения хозяйственных построек по территории парка.

Матрицы K_3 и K_4 в формуле (1) берутся с отрицательным знаком, так как для зоны тихого отдыха предпочтительными являются участки, максимально удаленные от входов парк и административно-хозяйственных построек. При этом наиболее благоприятным условиям будет соответствовать значение элемента результирующей матрицы, равное $5 + 5 - 0 - 0 = 10$ баллов. Наименее благоприятным условиям соответствует значение, равное $0 + 0 - 5 - 5 = -10$ баллов.

Для г. Барановичи результирующие матрицы оценки благоприятности территории парка разме-

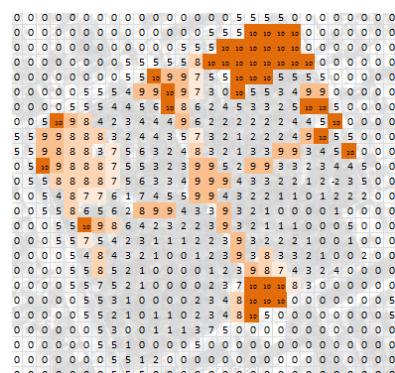
щению рекреационных зон приведены на рис. 2. Для парков остальных городов результирующие матрицы получены аналогичным образом.

Эти результирующие матрицы послужили основой решения последней задачи исследования — оценки качества функционального зонирования территорий восьми отобранных парков. Для этих целей существующая схема функционального зонирования территории каждого парка была наложена поочередно на каждую из построенных в том же масштабе матриц благоприятности территории каждому виду рекреационной деятельности, аналогичных тем, что приведены на рис. 3 для ПК иО имени 30-летия ВЛКСМ в г. Барановичи. При этом подсчитывалось количество квадратов, оказавшихся в границах функциональной зоны, качество размещения которой оценивается, а также сумма оценок этих квадратов и максимально возможная



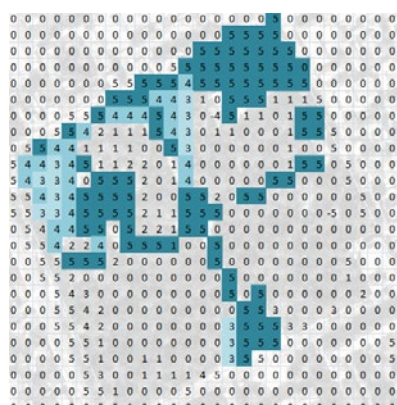
Результирующая матрица K_{QR} благоприятности территории парка размещению зоны тихого отдыха

The resulting matrix K_{QR} of the park territory suitability as the venue of a quiet recreation area



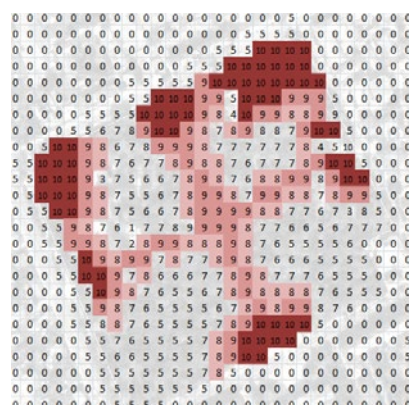
Результирующая матрица K_{PE} благоприятности территории парка размещению зоны массовых и развлекательных мероприятий

The resulting matrix K_{PE} of the park territory suitability as the venue of entertainment and public event area



Результирующая матрица K_{AR} благоприятности территории парка размещению зоны активного отдыха

The resulting matrix K_{AR} of the park territory suitability as the venue for active recreation



Результирующая матрица K_{CHA} благоприятности территории парка размещению зоны детского отдыха

The resulting matrix K_{CHA} of the park territory suitability as the venue for the children's playground

Рис. 2. Планограммы и построенные на них матрицы, описывающие благоприятность территории парка г. Барановичи размещению рекреационных зон

Fig. 2. Planograms and matrixes, describing the suitability of Baranovichi Park as the venue of recreational areas

величина оценки, которую может получить квадрат матрицы. Суммирование оценок всех квадратов, ограниченных внутри функциональной зоны (в соответствующей матрице), дало абсолютную оценку размещению каждой зоны в плане парка в баллах. Произведение количества этих квадратов на максимально возможную оценку одного квадрата определило максимально возможную оценку качества размещения каждой функциональной зоны. А отношение абсолютной оценки к максимально возможной позволило получить относительную величину, характеризующую качество размещения каждой функциональной зоны в плане парка, выраженную в процентах. Расчет производился по формуле:

$$A_j = \left(\frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n \cdot a_{\max}} \right) 100 \%, \quad (2)$$

где A_j — относительная оценка размещения j -й функциональной зоны на плане парка по факторам комфорта; n — количество квадратов матрицы в границах функциональной зоны; a_i — абсолютная оценка i -го квадрата матрицы; $a_{\max}$ — максимально возможная абсолютная оценка i -го квадрата данной матрицы.

Комплексный показатель качества функционального зонирования всего парка рассчитан как среднее арифметическое относительных оценок размещения отдельных функциональных зон:

$$K_i = \left(\frac{\sum_{j=1}^n A_j}{n} \right) 100 \%, \quad (3)$$

где K_i — комплексный показатель качества функционального зонирования i -го парка; n — количе-

ство видов рекреационных занятий (функциональных зон); A_i — относительная оценка размещения i -й рекреационной зоны на плане.

Полученные относительные оценки размещения рекреационных зон на территориях парков

колеблются в диапазоне от 0 до 100 %. Результаты оценки качества функционального зонирования отобранных парков больших городов Беларуси приведены в табл. 2 и на рис. 3–10.

Табл. 2. Оценка качества функционального зонирования парков больших городов Беларуси

Table 2. Quality assessment of functional zoning of parks in large cities of Belarus

Наименование парка Park name	Относительные оценки размещения рекреационных зон на территориях парков A_p , % Relative assessment of locations of recreational areas in parks A_p , %				Комплексный показатель качества функционального зонирования парка K_p , % Integrated quality indicator of park functional zoning K_i , %
	Зона тихого отдыха Quiet recreation area	Зона активного отдыха Active recreation area	Зона массовых мероприятий Area for entertainment and public events	Зона детского отдыха Children's area	
ПКиО имени 30-летия ВЛКСМ, г. Барановичи The 30th anniversary of the VLKSM Park in Baranovichi	42,99	83,00	61,29	65,00	63,07
ПКиО, г. Лиды Lida Park	27,00	—	39,02	78,33	36,09
ПКиО им. Горького, г. Борисов Gorky Park in Borisov	72,88	31,00	60,00	65,00	57,22
ПКиО г. Бобруйска Bobruisk Park	68,88	18,89	30,00	75,20	48,24
ПКиО г. Новополоцка Novopolotsk Park	68,98	74,55	70,00	81,43	73,74
ПКиО «Победа» г. Мозырь Pobeda Park in Mozyr	44,07	80,20	85,00	92,35	74,41
ПКиО «Текстильщик» г. Орша Tekstilshchik Park in Orsha	86,67	40,00	—	—	31,67
ПКиО г. Пинска им. Краснознаменной Днепровской флотилии Dnieper Flotilla Park in Pinsk	59,00	80,00	50,00	72,00	62,25

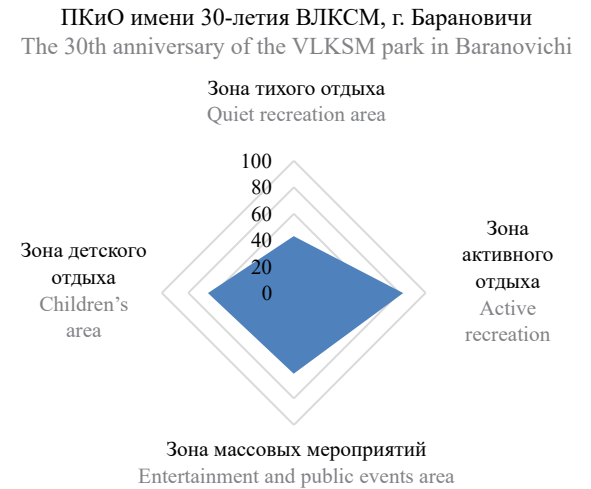


Рис. 3. Оценка качества функционального зонирования территории ПККиО имени 30-летия ВЛКСМ, г. Барановичи

Fig. 3. Quality assessment of functional zoning of the 30th Anniversary of VLKSM Park, Baranovichi

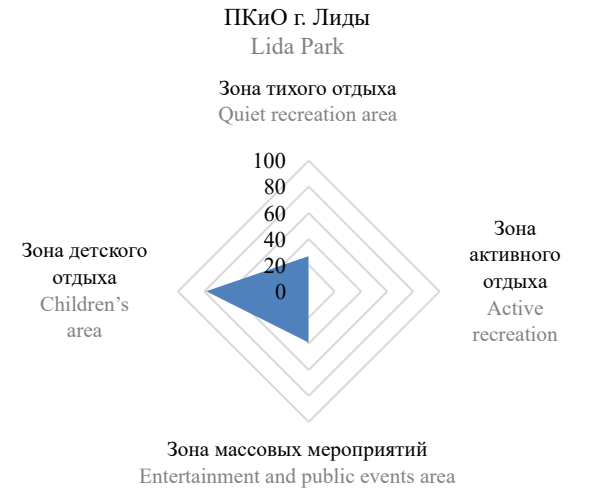


Рис. 4. Оценка качества функционального зонирования территории ПККиО г. Лиды

Fig. 4. Quality assessment of functional zoning of Lida Park



Рис. 5. Оценка качества функционального зонирования территории ПКиО им. Горького, г. Борисов

Fig. 5. Quality assessment of functional zoning of Gorky Park of Borisov



Рис. 6. Оценка качества функционального зонирования территории ПКиО г. Бобруйска

Fig. 6. Quality assessment of functional zoning of Bobruisk Park

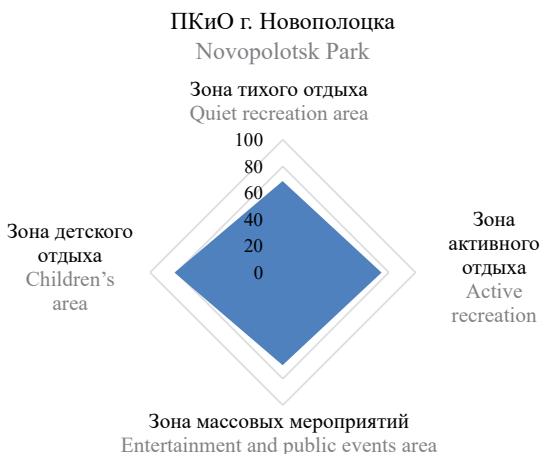


Рис. 7. Оценка качества функционального зонирования территории ПКиО г. Новополоцка

Fig. 7. Quality assessment of functional zoning of Novopolotsk Park

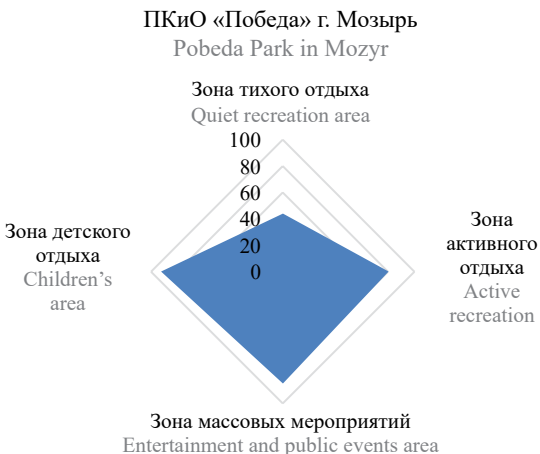


Рис. 8. Оценка качества функционального зонирования территории ПКиО «Победа» г. Мозырь

Fig. 8. Quality assessment of the functional zoning of Pobeda Park in Mozyr

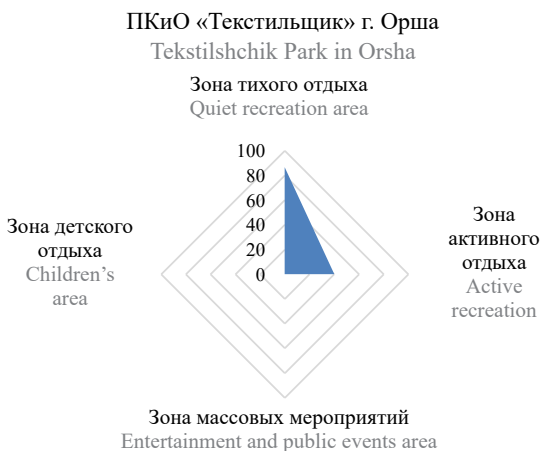


Рис. 9. Оценка качества функционального зонирования территории ПКиО «Тестильщик» г. Орша

Fig. 9. Quality assessment of functional zoning of Testilshchik Park in Orsha



Рис. 10. Оценка качества функционального зонирования территории ПКиО г. Пинска им. Краснознаменной Днепровской флотилии

Fig. 10. Quality assessment of functional zoning of Dnieper Flotilla Park in Pinsk

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Дальнейшее развитие городских парков сегодня воспринимается населением как острая необходимость. Выбор схемы функционального зонирования реконструируемого рекреационного объекта — главное решение, влияющее на комфортность парковой среды, и одно из важнейших условий, влияющих на посещаемость парка. Потребность учесть при этом большое число неравномерно распределенных по территории факторов усложняет задачу принятия обоснованного решения. Разработанная методика направлена на повышение обоснованности решений, принимаемых на предпроектной стадии исследований,

для поиска оптимального варианта зонирования реконструируемого парка. Оценка сложившегося зонирования также может представлять интерес при анализе причин недостаточной посещаемости парка.

Представленные оценки качества функционального зонирования парков коррелируют с оценками, ранее полученными авторами в интернет-опросе посетителей этих объектов, и были использованы в числе других показателей как составная часть комплексной методики оценки комфортности среды многофункциональных парков больших городов Беларуси, разработанной в рамках выполненного диссертационного исследования [29–32].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Высоковский А.А.* Основные результаты оценки парков культуры и отдыха Москвы. URL: http://vid1.ran.ru/ig/ratings/Parks_results.pdf
2. *Цурик Т.О.* Современные тенденции и проблемы развития городских парков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. № 4 (79). С. 57–65. DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-57-65
3. *Звонарева П.П., Филипская И.В., Янгулова И.В.* Рациональный подход к реновации общественных пространств г. Красноярска // Урбанистика. 2021. № 3. С. 42–55. DOI: 10.7256/2310-8673.2021.3.36219
4. *Тяглов С.Г., Родионова Н.Д., Федорова Ю.В., Сергиенко В.Ю.* Алгоритм развития общественных пространств крупных городов в условиях их урбанизации // Регионология. 2020. Т. 28. № 4 (113). С. 778–800. DOI: 10.15507/2413-1407.113.028.202004.778-800
5. *Danilina N., Tsurenkova K., Berkovich V.* Evaluating urban green public spaces: The case study of Krasnodar region cities, Russia // Sustainability. 2021. Vol. 13. Issue 24. P. 14059. DOI: 10.3390/su132414059
6. *Нитиевская Е.Е.* Ландшафтно-рекреационные территории г. Минска: перспективы развития // Архитектура : сб. науч. тр. 2013. № 6 (40). С. 161–166.
7. *Потаев Г.А., Никончик А.Д.* Пути реконструкции сложившихся парковых территорий в крупных городах // Архитектура : сб. науч. тр. 2008. № 1. С. 87–90.
8. *Шайгарданова Н.С.* Парк культуры и отдыха: из советского прошлого в российское настоящее // Дискуссия. 2014. № 5 (46). С. 83–90.
9. *Сидоренко М.В.* Сценарный подход в проектировании многофункциональных городских парков // Архитектура : сб. науч. тр. 2016. № 9. С. 156–161.
10. *Крашенинников А.В.* Сценарное проектирование городской среды // Architecture and Modern Information Technologies. 2017. № 4 (41). С. 242–256.
11. *Санофф Г.* Соучаствующее проектирование: практики общественного участия в формировании среды больших и малых городов / пер. с англ. А. Коннова. Вологда : Проектная группа 8, 2015. 169 с.
12. *Щербина Е.Ю., Клочкова Е.Р.* Соучаствующее проектирование как инструмент развития городской среды // Управленческое консультирование. 2021. № 7 (151). С. 68–79. DOI: 10.22394/1726-1139-2021-7-68-79
13. *Дмитрийчук Н.М., Денисова Ю.В.* Проектирование городских парковых комплексов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 70–77. DOI: 10.34031/article_5d07a0f2693984.29257494
14. *Перькова М.В., Вайтенс А.Г., Баклаженко Е.В.* Классификация градостроительных конфликтов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 12. С. 83–90. DOI: 10.12737/article_5c1c99640dff53.24262657
15. *Воробьева М.О.* Проектные подходы в организации тематических парков // Урбанистика. 2017. № 1. С. 11–23. DOI: 10.7256/2310-8673.2017.1.22057
16. *Божук В.Н.* Основные приемы создания тематизированного пространства в тематическом развлекательном парке // Architecture and Modern Information Technologies. 2016. № 3 (36). С. 3.
17. *Мерлен П.* Город. Количественные методы изучения. М. : Прогресс, 1977. 262 с.
18. *Сосновский В.А., Русакова Н.С.* Прикладные методы градостроительных исследований : учеб. пособие. М. : Архитектура-С, 2006. 110 с.
19. *Сосновский В.А.* Планировка городов : учеб. пособие. М. : Высшая школа, 1988. 103 с.
20. *Гостев В.Ф., Юскевич Н.Н.* Проектирование садов и парков. М. : Стройиздат, 1991. 340 с.

21. Луны Л.Б. Городское зеленое строительство. М. : Стройиздат, 1974. 280 с.
22. Боговая И.О., Теодоронский В.С. Озеленение населенных мест : учеб. пособие. СПб. : Лань, 2012. 239 с.
23. Лавров В.А., Солофненко Н.А., Смоля И.М. и др. Справочник проектировщика: Градостроительство / под общ. ред. В.Н. Белоусова. М. : Стройиздат, 1978. 367 с.
24. Джекобс Д. Смерть и жизнь больших американских городов / пер. с англ. Л. Мотылева. М. : Новое издательство, 2011. 457 с.
25. Loures L., Costa L., Pinto S. Evaluating the influence of urban parks and greenways in urban fabric attractiveness — a case study from Oporto metropolitan area // Conference: IMASS — Multidimensional aspects of spatial analysis. 2014. DOI: 10.13140/RG.2.1.1442.4408
26. Wimmer T., Thurner M.-B., Dorau U., Frisch H., Rathschüler O. High quality open spaces in urban development — selected examples from Graz, Austria // Urban Studies and Practices. 2018. Vol. 3. Issue 3 (12). Pp. 69–98. DOI: 10.17323/usp33201869-98
27. Valente D., Marinelli M.V., Lovello E.M., Giannuzzi C.G., Petrosillo I. Fostering the resiliency of urban landscape through the sustainable spatial plan-

- ning of Green Spaces // Land. 2022. Vol. 11. Issue 3. P. 367. DOI: 10.3390/land11030367
28. Городков А.В. Ландшафтно-средозащитное озеленение и его влияние на экологическое состояние крупных городов центральной России. СПб.; Брянск, 2000.
29. Силин Р.В., Касьянов В.Ф. Построение методики оценки качества городского парка в контексте проблемы обеспечения устойчивого развития городских поселений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 6. С. 57–64. DOI: 10.12737/article_5b115a674daca3.39959922
30. Kasyanov V.F., Silin R.V. Method for multi-criteria evaluation of urban parks // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. Issue 5. P. 055040. DOI: 10.1088/1757-899X/687/5/055040
31. Silin R.V., Kasyanov V.F. Methodology for assessing quality of urban park functional zoning by factors affecting park environment comfortability // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 962. Issue 4. P. 042004. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042004
32. Силин Р.В. Методика оценки комфортности многофункциональных городских парков (на примере больших городов Беларуси) : дис. ... канд. техн. наук. М., 2020. С. 68–76.

Поступила в редакцию 23 сентября 2022 г.

Принята в доработанном виде 2 декабря 2022 г.

Одобрена для публикации 21 декабря 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Руслан Владимирович Силин** — кандидат технических наук, заместитель директора института повышения квалификации; **Белорусско-Российский университет**; Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, пр-т Мира, д. 43; РИНЦ ID: 45105353; silinruslanl@gmail.com;

Елена Евгеньевна Корбут — кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства; **Белорусско-Российский университет**; Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, пр-т Мира, д. 43; РИНЦ ID: 22630171; korbutee@mail.ru.

Вклад авторов:

Силин Р.В. — концепция исследования, систематизация информации об объектах исследования, развитие методологии, написание исходного текста, доработка текста, итоговые выводы.

Корбут Е.Е. — натурные обследования парков, сбор документальной информации об объектах исследования, участие в написании исходного текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Vysokovsky A.A. Main results of the assessment of parks of culture and leisure in Moscow. URL: http://vid1.rian.ru/ig/ratings/Parks_results.pdf (rus.).
2. Tsurik T.O. Current trends and problems of development of city parks. *Proceedings of the Southwest State University*. 2018; 4(79):57-65. (rus.).
3. Zvonareva P.P., Filipskaya I.V., Yangulova I.V. Rational approach towards renovation of public spaces in Krasnoyarsk. *Urbanistics*. 2021; 3:42-55. DOI: 10.7256/2310-8673.2021.3.36219 (rus.).
4. Tyaglov S.G., Rodionova N.D., Fedorova Y.V., Sergienko V.Yu. Algorithm for the development of public spaces in large cities in the context of urbanization. *Russian Journal of Regional Studies*. 2020; 28(4):778-800. DOI: 10.15507/2413-1407.113.028.202004.778-800 (rus.).

5. Danilina N., Tsurenkova K., Berkovich V. Evaluating urban green public spaces: The case study of Krasnodar region cities, Russia. *Sustainability*. 2021; 13(24):14059. DOI: 10.3390/su132414059
6. Nitievskaya E.E. Landscape and recreational areas of Minsk: prospects for development. *Architecture: Collection of Scientific Papers*. 2013; 6(40):161-166. (rus.).
7. Potayev G.A., Nikonchik A.D. Ways to reconstruct the existing park territories in big cities. *Architecture: Collection of Scientific Papers*. 2008; 1:87-90. (rus.).
8. Shaygardanova N.S. Park of culture and recreation: From the Soviet Past to the Russian Present. *Discussion*. 2014; 5(46):83-90. (rus.).
9. Sidorenko M.V. Scenario approach in the design of multifunctional city parks. *Architecture: Collection of Scientific Papers*. 2016; 9:156-161. (rus.).
10. Krashenninnikov A. Scenario-based design of the built environment. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2017; 4(41):242-256. (rus.).
11. Sanoff G. *Co-participatory design: practices of public participation in the formation of the environment of large and small cities*. Vologda, Project Group 8, 2015; 169. (rus.).
12. Shcherbina E.Yu., Klochkova E.R. Participatory design as a tool for the urban environment development. *Administrative Consulting*. 2021; 7(151):68-79. DOI: 10.22394/1726-1139-2021-7-68-79 (rus.).
13. Dmitrichuk N., Denisova V. The design of urban park systems. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2019; 6:70-77. DOI: 10.34031/article_5d07a0f2693984.29257494 (rus.).
14. Perkova M.V., Vitens A.G., Baklazhenko E.V. Classification of urban conflicts. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2018; 12:83-90. DOI: 10.12737/article_5c1c99640dff53.24262657 (rus.).
15. Vorobyeva M.O. Design approaches in the organization of theme parks. *Urbanistics*. 2017; 1:11-23. DOI: 10.7256/2310-8673.2017.1.22057 (rus.).
16. Bozhuk V. The basic techniques for thematic space design in entertainment parks. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2016; 3(36):3. (rus.).
17. Merlin P. *City. Quantitative methods of study*. Moscow, Progress, 1977; 262. (rus.).
18. Sosnovskiy V.A., Rusakova N.S. *Applied Methods of Urban Research : textbook*. Moscow, Architecture-S. 2006; 110. (rus.).
19. Sosnovskiy V.A. *Urban Planning : textbook*. Moscow, Higher School, 1988; 104. (rus.).
20. Gostev V.F., Yuskevich N.N. *Design of Gardens and Parks*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1991; 340. (rus.).
21. Lunts L.B. *Urban green construction*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1974; 280. (rus.).
22. Bogovaya I.O., Teodoronskiy V.S. *Residential Area Landscaping : textbook*. St. Petersburg, Lan' Publishing House, 2012; 239. (rus.).
23. Lavrov V.A., Solofnenko N.A., Smolyar I.M. et al. *Designer's Handbook: Urban Planning / under the general. ed. V.N. Belousov*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1978; 367. (rus.).
24. Jacobs J. *The Death and Life of Great American Cities / transl. from engl. L. Motylev*. Moscow, New Publishing House, 2011; 460. (rus.).
25. Loures L., Costa L., Pinto S. Evaluating the influence of urban parks and greenways in urban fabric attractiveness — a case study from Oporto metropolitan area. *Conference: IMASS — Multidimensional aspects of spatial analysis*. 2014. DOI: 10.13140/RG.2.1.1442.4408
26. Wimmer T., Thurner M.-B., Dorau U., Frisch H., Rathschüler O. High quality open spaces in urban development — selected examples from Graz, Austria. *Urban Studies and Practices*. 2018; 3(3):69-98. DOI: 10.17323/usp33201869-98
27. Valente D., Marinelli M.V., Lovello E.M., Giannuzzi C.G., Petrosillo I. Fostering the resiliency of urban landscape through the sustainable spatial planning of Green Spaces. *Land*. 2022; 11(3):367. DOI: 10.3390/land11030367
28. Gorodkov A.V. *Environmental protection and landscaping and its impact on ecological state of large cities in central Russia*. St. Petersburg; Bryansk, 2000. (rus.).
29. Silin R., Kas'yanov V. The development of methodology for assessing the quality of the urban park in the context of sustainable development of urban settlements. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2018; 3(6):57-64. DOI: 10.12737/article_5b115a674daca3.39959922 (rus.).
30. Kasyanov V.F., Silin R.V. Method for multi-criteria evaluation of urban parks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 687(5):055040. DOI: 10.1088/1757-899X/687/5/055040
31. Silin R.V., Kasyanov V.F. Methodology for assessing quality of urban park functional zoning by factors affecting park environment comfortability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 962(4):042004. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042004
32. Silin R.V. *Methodology of evaluating the comfort of multifunctional urban parks: the example of large cities in Belarus : dis. ... cand. tech. sciences*. Moscow, 2020; 68-76. (rus.).

Received September 23, 2022.

Adopted in revised form on December 2, 2022.

Approved for publication on December 21, 2022.

B I O N O T E S: **Ruslan V. Silin** — Candidate of Technical Sciences, Deputy Director of the Institute of Professional Development; **Belarusian-Russian University**; 43 Mir ave., Mogilev, 212000, Republic of Belarus; ID RISC: 45105353; silinruslanl@gmail.com;

Elena E. Korbut — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; **Belarusian-Russian University**; 43 Mir ave., Mogilev, 212000, Republic of Belarus; ID RISC: 22630171; korbutee@mail.ru.

Contribution of the authors:

Ruslan V. Silin — research concept, systematization of information about the objects of research, development of methodology, writing the source text, finalizing the text, final conclusions.

Elena E. Korbut — field surveys of parks, collection of documentary information about the objects of research, participation in the writing of the source text.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Биоклиматическое районирование — предпосылка для архитектурно-строительного и градостроительного проектирования, планирование территорий

Адхам Иминжанович Гиясов

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Выполнен анализ природно-климатических факторов на основе использования биоклиматических критериев оценки среды теплового периода в градостроительстве. В качестве примера рассматривалась территория республик Центральной Азии и юга Казахстана, которые расположены в южных широтах и ландшафтно-климатически характеризуются равниной и сложным горным рельефом, по климатическим и биоклиматическим условиям близким к экваториальным странам. Выбран метод оценки биоклиматических показателей, учитывающих реакции теплового состояния человека на окружающую среду, которые являются актуальными задачами архитектурно-строительного проектирования и планирования территорий южных стран с жарким климатом.

Материалы и методы. В основу исследования положена комплексная методология изучения, анализа и обобщения метеорологических факторов местных метеостанций, справочных данных ведущих научно-исследовательских институтов гидрометеорологии с последующей обработкой программным комплексом, позволяющая выявить специфические малые и большие по размеру микроклиматические и биоклиматические различия масштабных территорий и определяющая степень комфортности теплового состояния человека в биоклиматологии города.

Результаты. На основе учета реакции теплового состояния человека на окружающую среду сформулировано новое направление исследования — биоклиматологическая оценка среды. Определены биоклиматические различия территорий, городов, фрагментов планировки застройки с целью биоклиматического зонирования и районирования. Составлены карты районирования, позволяющие осуществить биоклиматический прогноз территорий в архитектурно-строительном и градостроительном проектировании.

Выводы. Сформулированные методологические основы биоклиматического районирования территории Центральной Азии и юга Казахстана с распределением классов биометеорологических показателей послужат предпосылкой для целенаправленного и рационального использования территории региона, позволят оценить ее рекреационные возможности, планировать строительство жилых комплексов, общественных и промышленных зданий и сооружений с максимальным комфортом и удобством при минимальных затратах. Представлена классификация биоклимата по признаку тепловой характеристики климата и реакции терморегуляторной системы в летний перегревный период, которая дает возможность охарактеризовать тепловое состояние человека на период наибольших тепловых и радиационных нагрузок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: биоклимат, город, климат, микроклимат, застройка, здание, градостроительство, комфортность, теплоощущения, влаготеплота

Благодарности. Работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ кафедры архитектурно-строительного проектирования и физики среды НИУ МГСУ «Функция, конструкция, среда в архитектуре зданий» в аспекте «Тепловая безопасность в изменении климата» проблемы «Биосферная совместимость».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Гиясов А.И. Биоклиматическое районирование — предпосылка для архитектурно-строительного и градостроительного проектирования, планирование территорий // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 1. С. 24–35. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.24-35

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

Bioclimatic zoning as a prerequisite for architectural and structural design, urban and area-wide planning

Adham I. Giazov

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

ABSTRACT

Introduction. Factors of nature and climate were analyzed using bioclimatic criteria of environmental assessments made in within the framework of urban planning during warm seasons. Territories of republics, located in Central Asia and southern

Kazakhstan, were considered as southern specimen areas; they have both plain and complex mountainous terrains, and their climatic and bioclimatic conditions make them similar to equatorial countries. The author chose a method for assessing bioclimatic indices; they take into account the response of the thermal status of a person to the environment, which is a relevant task of architectural and structural design and area-wide planning in southern countries with hot climates.

Materials and methods. This research project is based on a comprehensive methodology for studying, analyzing and summarizing meteorological factors, provided by local meteorological stations, and reference data from the leading research institutes of hydrometeorology. These data are further processed by the software package to identify specific small and large microclimatic and bioclimatic differences between large areas. The methodology also determines the degree of comfort of a thermal state of a person in urban bioclimatology.

Results. A new area of research was identified to study the response of the thermal state of a person to the environment: the bio-climatological assessment of environments. Bioclimatic zoning of republics in Central Asia and southern Kazakhstan was performed to classify the bioclimatic conditions in these environments according to their livability, taking into account values of meteorological indices during warm seasons. Bioclimatic differences between territories, cities, and excerpts from area development documents were identified for the purpose of bioclimatic zoning and division into districts. Maps of districts were designed to make bioclimatic forecasts of territories for the purpose of architectural and structural design, as well as urban planning.

Conclusions. The research is relevant for territories and cities with hot climates. Methodological fundamentals of bioclimatic zoning in Central Asia and southern Kazakhstan, coupled with classified bio-meteorological indices, will serve as a prerequisite for purposeful and rational use of territories in the region; they will allow evaluating its recreational potential and planning the construction of residential complexes, public and industrial buildings and structures that ensure maximum comfort and convenience at minimum costs. The classification of bioclimates is presented; it is based on thermal characteristics of climates as well as responses from the human thermoregulatory system during excessively hot summer periods. These responses are needed to characterize the thermal state of a person during periods of greatest heat stresses and radiation loads.

KEYWORDS: bioclimate, city, climate, microclimate, development, building, urban planning, comfort, warmth, moisture loss

Acknowledgments. The research was conducted in compliance with the plan of research undertakings at Department of Architectural and Structural Design and Environmental Physics of the Moscow State University of Civil Engineering “Function, design, environment in the architecture of buildings” in terms of “Thermal safety amid climate change” of the “Biosphere compatibility” problem.

FOR CITATION: Giyazov A.I. Bioclimatic zoning as a prerequisite for architectural and structural design, urban and area-wide planning. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(1):24-35. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.24-35 (rus.).

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

ВВЕДЕНИЕ

Улучшение природной среды, в которой реализуется жизнедеятельность человека и общества, — одна из основных проблем градостроительства.

Перспектива развития освоения территории возведением городов, населенных мест, зданий и сооружений во многом зависит от местных климатических и биоклиматических условий местности.

Специфика местного климата должна отразиться на индивидуальном архитектурном облике жилых образований и городов в целом, это проявляется в последние годы в конструктивных идеях и архитектуре зданий. Очевидно, что жизнь города на севере и юге, в песчаных пустынях и оазисах имеет свою специфику. Так, если в одних условиях, характеризующихся суровостью погоды, человека необходимо максимально защитить от неблагоприятного воздействия внешней среды, то в других с продолжительным комфортным периодом человек стремится как можно больше времени проводить на открытом воздухе, что должно быть принято во внимание при формировании планировочной структуры селитебной и промышленных зон, определении характера функционально-бытового обслуживания, решении проблемы отдыха и пешеходных связей. Анализ практики планировки и застройки городов показывает, что система застройки и, как

производная от нее, структура селитебных районов и городов, расположенных даже в крайне противоположных климатических условиях, весьма однотипна. Иногда наблюдаются неожиданные метаморфозы: вместо того, чтобы город защитил человека от неблагоприятного климата, его микро- и биоклиматические условия усугубляются по сравнению с общим климатическим фоном местности [1–4].

В решении градостроительных задач по выявлению особенностей природной среды, анализе ее пригодности для освоения в градостроительных целях недостаточно учитываются требования, обеспечивающие качественную оценку теплового состояния человека, данные о климате местности и микроклимате городов. При этом необходимы критерии, отражающие физиологическую реакцию организма человека на тепловое состояние окружающей среды, оцениваемой качественной мерой и легко поддаваемой учету и регулированию.

Это обстоятельство можно объяснить тем, что на сегодняшний день отсутствуют научные рекомендации и соответствующие нормативные документы по рассматриваемой проблеме. В свете решения этих задач очевидной является необходимость разработки теоретических основ комплексной науки «градостроительной биоклиматологии» — научной дисциплины, исследующей влияние естественных и искусственных климатических факторов, сфор-

мированных образованием городов, на функциональные и жизненные процессы людей.

Биоклимат города со своими параметрами отличается от метеорологических характеристик местности и оценивается по степени влияния на биосферу, обуславливающей физиологическую реакцию человека, проживающего на территории:

- качественными и количественными показателями, такими как продолжительность теплого дискомфорта и комфортного периода, активность солнечной радиации и температура воздуха, низкая влажность, скорость ветра, давление и другими факторами климата, влияющими на человека;
- комплексными характеристиками биоклиматических параметров, такими как эффективная температура (ЭТ), эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ) и теплоощущение человека при радиационной эквивалентно-эффективной температуре (РЭЭТ), определяющиеся оценкой совместного влияния солнечной радиации, температуры и влажности воздуха, скорости ветра и других метеорологических факторов.

В оценке биоклиматических параметров городов выявляются степени комфортности условий окружающей среды путем анализа физиологического состояния человека.

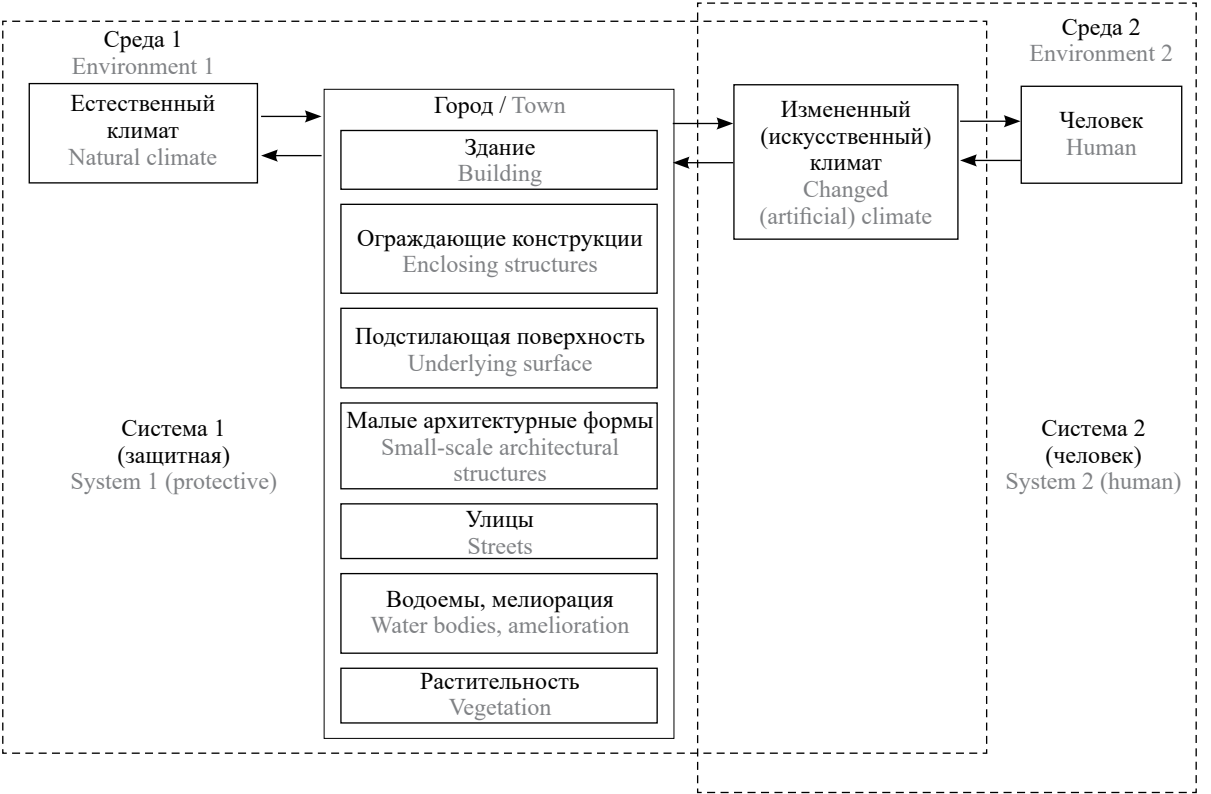
Под градостроительной биоклиматологией следует понимать совокупность наук, изучающих взаимосвязь между природно-климатическими условиями, человеком и городской средой, т.е. прямые

и обратные связи в системе «Климат – город – человек» (рис.).

Очевидно, что, изучая взаимосвязь между природно-климатическими условиями, человеком и городской средой, градостроительная биоклиматология должна базироваться на методе климатического анализа.

Несмотря на актуальность проблемы теплового режима человека в условиях климата южных районов СНГ и в мировой практике, на сегодняшний день широкий круг заинтересованных исследовательских организаций, в том числе и проектные институты, не располагают подробными данными, характеризующими распределение биоклиматических показателей по территории. Все это послужило поводом для разработки методологических основ биоклиматического районирования на основе систематизации метеорологических материалов, натурных исследований и обработки комплекса информации для научного анализа; создания карт-схем биоклиматического и климатического районирования.

Нормативные и справочные материалы, составленные в настоящее время для оценки климатических характеристик района строительства, наиболее отвечают запросам градостроительного и строительного проектирования [5–7]. Однако следует отметить, что форма их представления для решения градостроительных задач во вновь проектируемых современных городах со сложной морфозастройкой значительно усложняется. Существенным недостатком



Модель «Климат – город – человек»

The climate – city – people model

ком служит отсутствие унификации климатических параметров для целей градостроительства. В результате, как показывает анализ проектной документации, климатические характеристики по ряду городов включают разные показатели, используются различные климатические классификации. Все это затрудняет сравнительную оценку климата городов, расположенных в различных ландшафтно-климатических условиях, и выявление взаимосвязи, формируемой на территории биометеосреды с человеком.

Отсутствие требований к проектированию зданий и систем застройки по принципу природно-климатической типизации и связанных с ней методов оценки типологического решения по биоклиматическим качествам лишает возможности закладывать в проект оптимальные приемы планировки и объемно-планировочные решения зданий в зависимости от специфики окружающей природной среды. В свете решения указанных задач необходимо разработать теоретические основы по комплексной градостроительной биоклиматологии.

С целью решения градостроительных проблем, прежде всего, требуется выполнить биоклиматическое районирование, основанное на данных изучения разномасштабных факторов климата и законов климатообразования. Критерием для территориального деления должен служить характер взаимосвязи человека с окружающей его природной средой, установленный с помощью биоклиматической оценки и теплофизического формообразования зданий, городских построек и территорий.

Современный город со своей сложной морфологической застройкой составляет многокомпонентную среду, определяющую жизнедеятельность человека. Биоклиматическая оценка среды городов представляет собой климатические условия с учетом экологической составляющей, обуславливаемой условиями деятельности населения.

Биоклиматические ресурсы являются структурным элементом климатической составляющей территории городов, в частности рекреационных зон, которые составляют около 40–70 % от общей урбанизированной территории.

В северных урбанизированных территориях большинство людей, в связи с продолжительным холодным сезоном года, преимущественно пребывают в помещениях, т.е. в искусственной среде (до 70–90 %), что приводит к ослаблению иммунитета человека, снижает способность нормально восстанавливать свои силы и активность в трудовой деятельности.

В то же время в городах южных широт с максимальной вероятностью годовой продолжительности солнечного сияния 300 дней и более большая часть населения (60–80 %) находится в естественной среде, занимаясь каким-либо родом деятельности, отдыхом и бытом. Важно отметить, что при длительном нахождении человека в естественных

природных условиях за счет рационального использования продолжительных биоклиматических процедур значительно повышается устойчивость организма к негативным воздействиям окружающей среды и повышается активность к умственному и физическому труду [8–10]. Следует учитывать экстремальные дискомфортные факторы климата, особенно присущие современной городской среде южных широт: перегрев за счет солнечного излучения, избыток УФ и дискомфорт от него, духота, гигротермический дискомфорт, штилевые, ветровые условия.

Климат, являясь одной из основных географических характеристик любой местности, представляет собой наиболее примечательную сторону природы центральноазиатских, азиатских, арабских, африканских, южноамериканских стран южных широт, которые отличаются особым обилием солнечного света и тепла, продолжительность летнего периода составляет 8 и более месяцев с высокой температурой воздуха +40 °С, и аридным климатом влажностью около 25 %, что квалифицируется как экстремальные условия климата. Например, на африканском материке (Каир, Хартум, Триполи, Алжир, Джуба, Рабат и др.) на 30° северной и южной широты в безоблачные летние дни суточные величины суммарной солнечной радиации составляют 3300 МДж/см², а в зимние дни — 2000 МДж/см². Количество суммарной солнечной радиации в среднем — 6400 МДж/м²год. Продолжительность солнечного сияния составляет от 10 ч зимой до 14 ч летом. В подобных экстремальных жарких условиях погоды вопрос оценки и регулирования биоклиматического режима — приоритетный.

Для моделирования природно-климатических факторов в градостроительстве на базе использования биоклиматических критериев оценки среды теплого периода в качестве примера рассматривалась территория республик Центральной Азии и юга Казахстана, которые расположены в пределах 35–44° северной широты и ландшафтно-климатически характеризуются равниной и сложным горным рельефом, по климатическим и биоклиматическим условиям близким к экваториальным странам. Климатические условия территории отличаются длительным жарким летним и коротким мягким зимним периодом.

Цель исследования — объективная оценка и установление биоклиматических различий в зависимости от особенностей климата того или иного географического района с выделением зон и районов, позволяющие специалисту охарактеризовать тепловые нагрузки на организм, дифференцировать отдельные районы и города по условиям теплового режима человека и искать пути ослабления теплового дискомфорта среды.

Общие рекомендации и методические основы, сформулированные в данной статье по биоклиматическому режиму

ческому районированию, могут быть распространены для больших территорий республик Закавказья и зарубежных азиатских, африканских, европейских стран с климатической характеристикой, аналогичной зонам и городам республик Центральной Азии и Казахстана.

В связи с поставленной целью были изучены климатические условия различных районов Центральной Азии и южной территории Казахстана со сложной орографической ситуацией, а также микроклиматические особенности территории городов, произведен поиск наиболее приемлемого метода оценки биоклиматических показателей и составлен алгоритм для биоклиматического районирования в макро-, мезо- и микромасштабе с определением зон комфорта и дискомфорта.

В многочисленных исследованиях теплового состояния людей отечественными и зарубежными авторами установлено резкое нарушение терморегуляции организма человека в условиях жаркой и теплой погоды [11–16]. Как указывается в ряде работ [8, 17–21], высокие тепловые нагрузки отрицательно влияют на умственную и физическую работоспособность. Критические тепловые нагрузки вызывают тепловое истощение, а в ряде случаев приводят к летальному исходу (до 30 % повышается смертность детей и людей преклонного возраста).

Современный город обладает своими специфическими микро- и биоклиматическими условиями, и при городском планировании обязательно надо принимать во внимание ключевые метеорологические факторы. Он характеризуется сложной трехмерной ячеистой структурой морфозастройки, среди которой создается множество малых и больших по размеру микро- и биоклиматических различий.

Важное условие ближайшего будущего для проектирования жилья, являющегося структурным элементом города, — выработка типологических требований, рассчитанных на регулирование летнего теплового режима естественными средствами, привязанными к конкретным условиям района. Именно в этом случае необходимо выявлять соотношение функций контакта человека с внешней средой и защиты его от нее. Факторами, ограничивающими контакт помещений с внешней средой в летний период, продолжительность которого в странах южных экваториальных широт составляет 8 и более месяцев, служат активность солнечной радиации (до 1000 Вт/м²), высокая температура воздуха (45–50 °С) и термический нагрев подстилающей поверхности (до 70 °С), низкая влажность воздуха и скорость ветра (до 3 м/с). Изменение этих метеорологических параметров связано с ландшафтными и биоклиматическими признаками территорий.

В последние годы для оценки степени благоприятного воздействия факторов биоклимата на ор-

ганизм человека применялся метод, разработанный в Центре медицинской реабилитации и физиотерапии И.Ф. Бутевой [22].

Для биоклиматической оценки теплоощущения человека в летний период наиболее широкое распространение нашла шкала ЭТ, включающая температуру и влажность воздуха. Для характеристики теплоощущения человека, находящегося на затененном участке, применяются значения шкалы ЭЭТ, в которых учитываются все три компонента теплоощущения человека: температура и влажность воздуха, скорость ветра.

С целью анализа совместного влияния температуры воздуха, тепловой радиации, движения воздуха и ряда других параметров помещения пользуются американским стандартом ANSI/ASHRAE 55-2004¹.

Влияние солнечной радиации было учтено путем расчета шкалы РЭЭТ в виде зачерненного шарового термометра [1, 23].

Указанные выше методы оценки имеют специфику и ограничения в оценке теплового состояния человека для условий теплого климата районов и территорий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для выявления биоклиматических различий территорий с теплым климатом использовался наиболее простой и практичный метод определения степени комфортности теплового состояния человека в биоклиматологии города, разработанный в Среднеазиатском региональном научно-исследовательском гидрометеорологическом институте им. В.А. Бугаева (САРНИГМИ, ныне — НИГМИ). Данный метод исследования основан на физическом моделировании человека в виде цилиндрического термометра телесного цвета, что практично для оценки биоклимата открытых пространств масштабных территорий.

Для региона Центральной Азии и юга Казахстана наиболее практичным и доступным способом анализа теплового состояния человека с установлением уровня комфортности среды служит метод оценки тепловой нагрузки на организм человека по признаку теплопотерь и влагопотерь испарением пота FE , г/ч, представленный по оценочной шкале погодных условий, состоящих из шести градаций тепловой нагрузки.

С целью биоклиматического районирования макромасштабных территорий Центральной Азии и юга Казахстана использовался программный комплекс на платформе Earth Engine, позволяющий обработать массив метеорологических данных местных метеостанций, данные САРНИГМИ им. В.А. Бугаева и Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО), также обобщены сведения метеорологических ежемесячников и справочников

¹ ASHRAE. Thermal Comfort Tool. ASHRAE, Atlanta, GA, 2000. P. 224.

по климату. Для биоклиматического районирования на уровнях мезо- и микромасштаба территорий градостроительных комплексов и структур застроек изучаемых городов Ташкента, Душанбе, Бука, Бишкека были обработаны и обобщены климатические сведения метеостанций, метеопунктов, функционирующих на территориях городов, и микроклиматические и биоклиматические данные, полученные на основе масштабных синхронных измерений при помощи портативных измерительных аппаратур, произведенных в характерных пунктах согласно методике, изложенной в «Методических указаниях по производству микроклиматических обследований в период изысканий». Микро- и биоклиматические наблюдения проводились преимущественно в летние месяцы при ясной погоде отдельными дневными сериями синхронно в характерных точках города с 8 до 20 ч при помощи метеорологических и актинометрических приборов на высоте 1,5 м от земли. Одновременно производились измерения с применением биоклиматических стоек, оснащенных шаровыми термометрами диаметром 15 см черного цвета, цилиндрическими термометрами диаметром 8 см, высотой 12 см с альбедо, равной 0,3, установленных на уровнях 50 и 150 см, позволяющие произвести оценку теплового состояния физическим моделированием человека.

В период исследования выполнялись следующие инструментальные измерения повторяемости комплекса метеорологических факторов: интенсивность солнечной радиации, температура и влажность воздуха, скорость, повторяемость и направления ветра, температура шарового и цилиндрического термометра, температура подстилающих поверхностей и деятельной поверхности застройки, альбедо территории изучаемого города.

Методика постановки микро- и биоклиматических комплексных натурных исследований разработана автором, производство работ осуществлялось группой студентов, магистров и аспирантов под руководством и непосредственным участием автора.

Для современного крупного ландшафта города характерна выраженная неоднородность, сочетания разновысотности морфозастройки, зоны застройки с открытой и озелененной, обводненной территорией, различной по масштабам, сочетаниям и взаиморасположению. В этой связи при натурных измерениях факторов биоклимата на уровне микромасштаба были выделены участки городской территории с характерными и достаточно однородными типами деятельных поверхностей территории и построек.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Летний, весенний и ранний осенний периоды в Центральной Азии и на юге Казахстана отличаются высокой лучистой солнечной энергией, безоблачной продолжительной жаркой погодой, низкой

влажностью воздуха и скоростью ветра, что в совокупности повышает количественную характеристику тепловой нагрузки на организм человека.

Деление территориального региона Центральной Азии и юга Казахстана по изотермам июля позволило дать им характеристику на период наибольших тепловых и радиационных нагрузок. В классификации биоклимата принята качественная характеристика именно теплого сезона. Изучаемый регион по признаку тепловой характеристики климата и реакции терморегуляторной системы разделен на шесть биоклиматических районов. Шкала теплорадиационных нагрузок представлена в табл. 1. Величина тепловой нагрузки FLE , приведенная в табл. 1, определяется на основе теплового баланса человека. Зная величину FLE , ккал/ч, можно определить величину влагопотери при испарении пота FE , г/ч, разделив ее на величину скрытой теплоты преобразования, равную 0,58 ккал/ч при температуре кожи человека 33 °С.

Параметром теплового состояния человека является также другой показатель M , определяемый отношением фактической величины испарения пота FE к максимально возможной FE_{max} при равных метеорологических условиях.

При значениях M 50–60 % и более наблюдается выраженная реакция терморегуляторных механизмов. При увеличении значения M до 100 % создается угроза теплового или солнечного удара.

Биоклиматические районы I, II и III представляют собой территории преимущественно равнинные с жарким аридным климатом, теплорадиационная нагрузка в летний период варьируется от большой до чрезмерно жаркой с высоким напряжением терморегуляционного аппарата человека. В районах IV, V и VI преобладают равнинные оазисы, предгорья, горные долины, территории хорошо обводнены и озеленены. Летний термический радиационный режим можно охарактеризовать как средний и тяжелый.

На основе изучения факторов климата, микроклимата и биоклимата от микромасштабного городского ландшафта (улиц, площадей, жилых кварталов, районов) до мезо- и макромасштабного географического ландшафта территорий Центральной Азии и юга Казахстана составлены карты районирования со средним значением дневной биоклиматической характеристики на 13 ч июля месяца с потерей влаги путем испарения пота FE , г/ч (табл. 2). Данные карты являются унифицированными картами биоклиматического районирования и предназначены для архитекторов-проектировщиков и строителей и должны учитываться при решении градостроительных задач, оптимизации структур комплексов застройки, элементов благоустройства города, строительстве зданий и сооружений с прогнозированием их влияния на тепловое состояние человека.

Табл. 1. Градация теплорадиационных нагрузок на организм человека (*FE* и *FLE*) и напряженности терморегуляторной системы *M*

Table 1. Gradation of heat and radiation loads on the human body (*FE* and *FLE*) and intensity of the thermoregulatory system *M*

Биоклиматические показатели Bioclimatic indices	Биоклиматические районы Bioclimatic regions	Показатели теплового состояния Thermal state indices		
		Влагопотери испарением пота <i>FE</i> , г/ч Moisture loss due to sweat evaporation <i>FE</i> , g/h	Тепловая нагрузка <i>FLE</i> , кал/ч Thermal load <i>FLE</i> , cal/h	Теплоощущение <i>M</i> , % Warmth <i>M</i> , %
Чрезмерный (чрезвычайно жарко) Excessive (extremely hot)	I	> 900	> 522	> 85
Очень большой (очень жарко) Very big (very hot)	II	701–900	407–522	65–85
Большой (жарко) Big (hot)	III	501–700	291–406	46–64
Умеренный (очень тепло) Moderate (very warm)	IV	301–500	175–290	26–45
Слабый (тепло) Weak (warm)	V	151–300	88–174	13–25
Минимальный (тепловой комфорт) Minimum (thermal comfort)	VI	50–150	29–87	5–12

Биоклиматическое районирование территории методами биоклиматической оценки территорий разнопланового масштаба дает проектировщику большие возможности при решении многих задач в градостроительстве и в выявлении типологических особенностей жилища каждого из выделенных районов. При этом общий характер теплового состояния среды конкретного населенного пункта определяется путем составления биоклимаграмм, на которых указываются периоды с различными тепловыми условиями и их продолжительность, исходя из чего выявляются градостроительные требования, необходимые для регулирования микроклимата в данном населенном пункте.

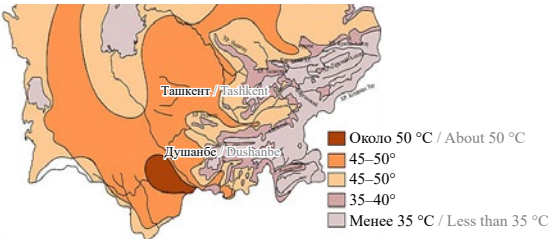
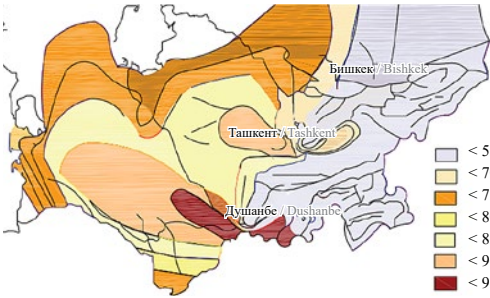
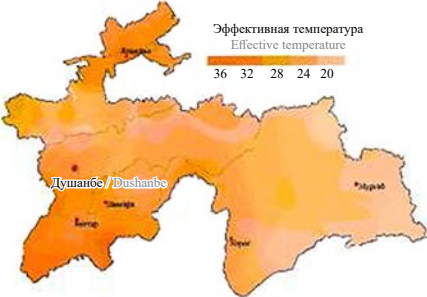
Большое разнообразие природно-климатических условий территории предопределило важность учета природного окружения при формировании оптимальных микроклиматических, биоклиматических и санитарно-гигиенических условий городской среды.

Биоклиматическая оценка природно-климатической ситуации показала, что на территории республик Кыргызстана и Таджикистана, в которых около 93 % территории занимают горы, летом отмечается уровень биоклиматического показателя от умеренного до большого. На равнине Казахстана, Узбекистана и Туркменистана около 60–70 % времени в году приходится на диском-

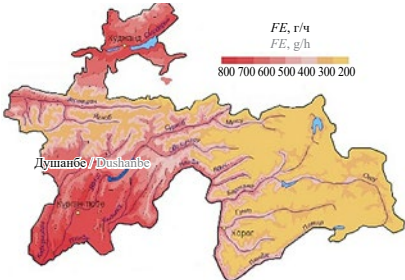
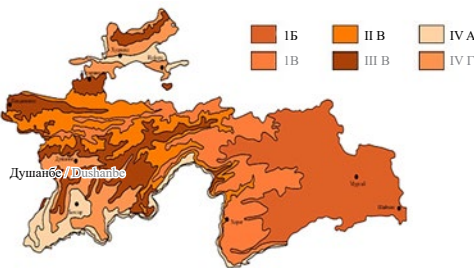
фортные биоклиматические условия, когда человек испытывает чрезмерный перегрев среды, обуславливающий наибольшее терморегуляторное напряжение. Подобная повторяемость определяет тепловое состояние человека, которое должно являться определяющим фактором при объемно-пространственной и архитектурно-планировочной организации городской территории и структурных элементов зданий.

Установлено, что вследствие большой широтной протяженности жаркая перегревная погода находится в диапазоне от четырех месяцев на севере Центрально-Азиатского региона до восьми и более на юге. В южных пустынях наблюдается круглосуточный перегрев как на открытых городских территориях (*FE* 800–900 г/ч), так и в закрытых пространствах помещений зданий (*FE* 400–500 г/ч). Наиболее высокие тепловые нагрузки среды, раздражающие организм человека, чаще всего отмечаются в теплый период в мае–августе, а менее раздражающие климатические условия наблюдаются во второй половине марта, апреля, сентябре, октябре. Оптимальные тепловые нагрузки среды наблюдаются в теплый период марта и октября. Наиболее благоприятными месяцами для разных видов деятельности в регионе и в городах являются апрель и сентябрь, а наименее благоприятными и дискомфортными — июнь и июль.

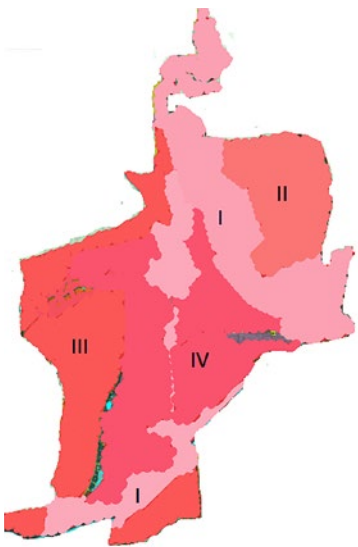
Табл. 2. Этапы биоклиматического районирования
Table 2. Stages of bioclimatic zoning

Районирование территории Zoning of the territory	По показателям Based on indices	Характеристика Characteristic
<i>1. Биоклиматическое районирование территории Центральной Азии и юга Казахстана на уровне макромасштаба</i> <i>1. Bioclimatic zoning of the territory of Central Asia and southern Kazakhstan at the macroscale level</i>		
	Районирование по температуре воздуха, °C Zoning by air temperature, °C	Карта-схема распределения высоких температур по территории с выделением областей с абсолютным максимумом температур Map of high temperatures featuring areas with maximum temperatures
	Среднее годовое число дней с температурой воздуха ≥ 40 °C Average annual number of days with air temperature ≥ 40 °C	Карта-схема распределения среднегодового числа дней с высокой температурой Map of the average annual number of days with high temperatures
	Потери влаги путем испарения пота FE, г/ч Moisture loss due to sweat evaporation FE, g/h	Карта-схема распределения основного показателя тепловой нагрузки Map of the main thermal load index
<i>2. Биоклиматическое районирование территории Таджикистана на уровне макромасштаба</i> <i>2. Bioclimatic zoning of the territory of Tajikistan at the macroscale level</i>		
	Эффективная температура, °C Effective temperature, °C	Карта-схема распределения с выделением максимальной эффективной температуры Map highlighting the maximum effective temperature
	Эквивалентно-эффективная температура, °C Equivalent effective temperature, °C	Карта-схема распределения с выделением максимальной эквивалентно-эффективной температуры Map highlighting maximum equivalent effective temperature

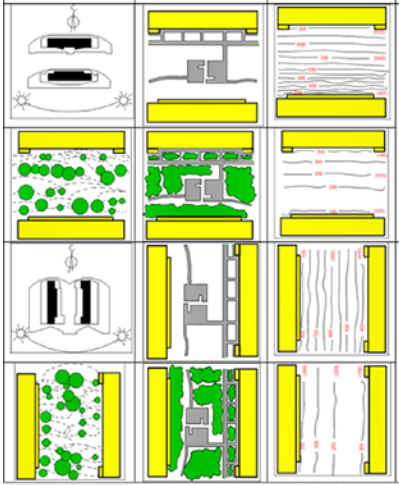
Продолжение табл. 2 / Continuation of the Table 2

Районирование территории Zoning of the territory	По показателям Based on indices	Характеристика Characteristic
	Потери влаги путем испарения пота <i>FE</i> , г/ч Moisture loss due to sweat evaporation <i>FE</i> , g/h	Карта распределения основного показателя тепловой нагрузки Map of the main thermal load index
	Строительно-климатическое районирование территории Construction-focused climatic zoning of the territory	Карта-схема строительно-климатического районирования Map of construction-focused climatic zoning
	Ландшафтно-климатическое районирование территории Landscape-focused climatic zoning of the territory	Карта-схема ландшафтно-климатического районирования Map of landscape-focused climatic zoning

3. Биоклиматическое районирование территории Душанбе на уровне мезомасштаба
3. Bioclimatic zoning of the territory of Dushanbe at the mesoscale level

	Потери влаги путем испарения пота <i>FE</i> , г/ч Moisture loss by sweat evaporation <i>FE</i> , g/h	Карта распределения основного показателя тепловой нагрузки: I — слабо умеренное воздействие <i>FE</i> = 400–450 г/ч, II — умеренное воздействие <i>FE</i> = 500–550 г/ч, III — большая тепловая нагрузка <i>FE</i> = 650–700 г/ч, IV — очень большая нагрузка <i>FE</i> = 750–850 г/ч Distribution map of the main indicator of heat load: I — mild-moderate impact <i>FE</i> = 400–450 g/h, II — moderate impact <i>FE</i> = 500–550 g/h, III — large thermal load <i>FE</i> = 650–700 g/h, IV — very heavy load <i>FE</i> = 750–850 g/h
---	---	---

Окончание табл. 2 / End of the Table 2

Районирование территории Zoning of the territory	По показателям Based on indices	Характеристика Characteristic
4. Биоклиматические различия территории городской постройки на уровне микромасштаба 4. Bioclimatic differences in the territory of urban development at the microscale level		
	Потери влаги путем испарения пота FE , г/ч Moisture loss due to sweat evaporation FE , g/h	Карта распределения тепловой нагрузки междомовой территории со зданиями широтной и меридиональной ориентации Thermal load map of the territory between buildings of latitudinal and meridional orientation

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе изучения климатических условий различных территорий и городов Центральной Азии и юга Казахстана выбран наиболее приемлемый для них практический метод оценки биоклиматических показателей, который позволил выявить биоклиматические различия региона, территорий, городов, фрагментов застройки и произвести биоклиматическое районирование путем определения зон комфорта и дискомфорта по значениям биоклиматических показателей.

С помощью пофакторно-интегрального анализа биоклиматических условий территории Центральной Азии и юга Казахстана сформулированы методологические подходы биоклиматического районирования, являющиеся предпосылкой для планирования городов с выделением видов рекреационных зон и архитектурно-строительных построек, в основе которых лежит предварительное прогнозирование и оценка теплового состояния человека в продолжительный летний перегревный период.

Составлена классификация шести биоклиматических районов, определяющих перспективы архитектурно-строительной, градостроительной и других видов деятельности на территории в соответствии с биоклиматическими особенностями.

Определено, что градостроительная оценка биоклимата городов должна сопровождаться анализом комплекса климатических факторов, таких как: режим солнечной радиации в палящий солнечный период; температурный, ветровой и влажностные режимы воздуха в годовом, месячном и дневном циклах с учетом физиологического прогнозирования теплового состояния человека.

Выявлена роль биоклиматического и климатического районирования территории Центральной Азии и юга Казахстана в распределении классов биометеорологических показателей для целенаправленного и рационального использования территории региона, оценки ее рекреационных возможностей, планирования строительства жилых комплексов, типов общественных и промышленных зданий и сооружений с максимальным комфортом и удобством при минимальных затратах.

Предлагаемые методологические основы биоклиматического районирования, сформулированные в результате обобщения исследований реакции человека от теплового напряжения на территории Центральной Азии и юга Казахстана, могут послужить предпосылкой для биоклиматической оценки факторов окружающей человека среды в градостроительных образованиях также и для экваториальных стран с жарким климатом и выявления аналогов городов по природно-биоклиматическим признакам.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гиясов А., Гиясов Б.И., Баротов Ю.Г. Биоклиматическая оценка территории городов аридной зоны и его влияние на состояние человека // Наука и инновация. 2017. № 1. С. 223–230.

2. Мягков М.С. Микроклимат и биоклиматическая комфортность традиционной арабской застройки // Архитектура и современные информационные технологии. 2019. № 4 (49). С. 235–261. DOI: 10.24411/1998-4839-2019-00017

3. Olgyay V. Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism — New and Expanded Edition. New Jersey, USA : Prienston University Press, 2015. 224 p.

4. Болдуин Р., Милбенк Н.О., Роу Г.Д. Здоровье, строительство и климат // Климат и здоровье человека : тр. Междунар. симпозиума ВМО/ВОЗ/ЮНЕП. Т. 1. Л. : Гидрометеиздат, 1988. С. 160–165.

5. RU 2020621470. Научно-прикладной справочник «Климат России» / Разуваев В.Н., Булыгина О.Н., Коришнова Н.Н., Клещенко Л.К., Кузнецова В.Н., Трофименко Л.Т. и др.; заявл. № 2020620899 от 09.06.2020, опубл. 18.08.2020. Бюл. № 8.

6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Вып. 31. Таджикская ССР; Вып. 19. Узбекская ССР; Вып. 18. Казахская ССР; Вып. 30. Туркменская ССР; Вып. 32. Киргизская ССР; Вып. 14. Л. : Гидрометеиздат, 1988–1989.

7. Романова Е.Н., Гобарова Е.О., Жильцова Е.Л. Методы использования систематизированной климатической и микроклиматической информации при развитии и совершенствовании градостроительных концепций. СПб. : Гидрометеиздат, 2000. 160 с.

8. Мурад Д. Биоклиматическая архитектура: обзор опыта создания внешнего комфорта городской среды в условиях сухого и жаркого климата // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 3 (33). С. 13–23.

9. Taylor K.E., Stouffer R.J., Meehl G.A. An overview of CMIP5 and the experiment design // Bulletin of the American Meteorological Society. 2012. Vol. 93. Issue 4. Pp. 485–498. DOI: 10.1175/bams-d-11-00094.1

10. Foruzanmehr A. Thermal comfort in hot dry climates. Traditional dwellings in Iran. Routledge, 2019. 210 p.

11. Айзеништат Б.А., Лукина Л.П. Биоклимат и микроклимат Ташкента. Л. : Гидрометеиздат, 1982. 128 с.

12. Oke T.R. Boundary layer climates. London : Routledge, 1999. 435 p.

13. Алин А.С., Пашиковская А.А. Характеристика биоклимата города Краснодара // Региональные

географические исследования : сб. науч. тр. 2020. С. 121–125.

14. Исаева А.Г. Экологическая климатология. М. : Научный мир, 2001. 456 с.

15. Basic J. Regionalization and Evaluation of Seasonal Human Bioclimate of Semnan Province // Journal of Basic and Applied Scientific Research. 2012. Vol. 2. Issue 5. Pp. 4740–4750.

16. Nguyen Khanh Van. Bioclimatology study in modern geography // Ukrainian Geographical Journal. 2012. Issue 3. Pp. 35–39.

17. Pineda-Martínez L.F., Carbajal N., Medina Roldán E. Regionalization and classification of bioclimatic zones in the central-northeastern region of México using principal component analysis (PCA). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., San Luis Potosí, SLP, 78216, México, 2006.

18. Eludoyin O.M., Adelekan I.O., Webster R., Eludoyin A.O. Air temperature, relative humidity, climate regionalization and thermal comfort of Nigeria // International Journal of Climatology. 2014. DOI: 10.1002/joc.3817

19. Демина Д.М., Кандорп И.С., Ратнер Е.М. Тепловое состояние человека как основа для физиологической характеристики климата местности и санитарно-климатического районирования // Вопросы географии. 1972. № 89. С. 51–54.

20. Багиров Б.Г. Вопросы рациональной организации труда, отдыха и питьевого режима при работах, ведущихся в пустыне // Адаптация человека и животных к условиям пустыни. Ашхабад : Ылым, 1971. С. 52–58.

21. Гиясов А.И., Баротов Ю.Г. Тепловое состояние человека в застройке городов с жарким условием климата // Политехнический Вестник. Серия: Инженерные исследования. 2018. № 4 (44). С. 151–157.

22. Бутьева И.В., Швейнова Т.Г. Методические вопросы интегрального анализа медико-климатических условий // Комплексные биоклиматические исследования. 1988. С. 97–108.

23. Айзеништат Б.А. Метод оценки теплового состояния человека с помощью физического тела в форме вертикального цилиндра // Труды САНИГМИ им. В.А. Бугаева. Вопросы прикладной климатологии и биометеорологии. М. : Гидрометеиздат, 1978. № 57 (138). С. 38–43.

Поступила в редакцию 18 октября 2022 г.

Принята в доработанном виде 21 ноября 2022 г.

Одобрена для публикации 21 декабря 2022 г.

ОБ АВТОРЕ: 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: 0000-0002-2471-5065; adham52@mail.ru.

REFERENCES

1. Giyasov A., Giyasov B.I., Barotov Yu.G. Bio-climatic assessment of the territory of cities in the arid zone and its impact on the human condition. *Science and Innovation*. 2017; 1:223-230. (rus.).
2. Myagkov M. Microclimate and bioclimatic comfort of traditional arab urban structure. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2019; 4(49):235-261. DOI: 10.24411/1998-4839-2019-00017 (rus.).
3. Olgyay V. *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism — New and Expanded Edition*. New Jersey, USA, Prienston University Press, 2015; 224.
4. Baldwin R., Milbank N.O., Roe G.D. Health, construction and climate. *Climate and human health. Proceedings of the WMO/WHO/UNEP International Symposium. Volume 1*. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1988; 160-165. (rus.).
5. RU 2020621470. *Scientific and applied reference book “Climate of Russia”* / Razuvaev V.N., Bulygina O.N., Korshunova N.N., Kleschenko L.K., Kuznetsova V.N., Trofimenko L.T. and etc.; dec. No. 2020620899 of 06/09/2020, publ. 08/18/2020. Bull. No. 8. (rus.).
6. *Scientific and applied reference book on the climate of the USSR*. Issue 31. Tajik SSR; Issue 19. Uzbek SSR; Issue 18. Kazakh SSR; Issue 30. Turkmen SSR; Issue 32. Kirghiz SSR; Issue 14. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1988-1989. (rus.).
7. Romanova E.N., Gobarova E.O., Zhiltsova E.L. *Methods of using systematized climatic and microclimatic information in the development and improvement of urban planning concepts*. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 2000; 160. (rus.).
8. Mourad D. Bioclimatic architecture: an overview of experience of creating external comfort of the urban environment in a dry and hot climate. *Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*. 2015; 3(33):13-23. (rus.).
9. Taylor K.E., Stouffer R.J., Meehl G.A. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2012; 93(4):485-498. DOI: 10.1175/bams-d-11-00094.1
10. Foruzanmehr A. *Thermal Comfort in Hot Dry Climates. Traditional Dwellings in Iran*. Routledge, 2019; 210.
11. Aizenshtat B.A., Lukina L.P. *Bioclimate and microclimate of Tashkent*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1982; 128. (rus.).
12. Oke T.R. *Boundary layer climates*. London, Routledge, 1999; 435.
13. Alin A.S., Pashklovskaya A.A. Characteristics of the bioclimate of the city of Krasnodar. *Regional Geographical Research : collection of scientific papers*. 2020; 121-125. (rus.).
14. Isaeva A.G. *Ecological climatology*. Moscow, Scientific world, 2001; 456. (rus.).
15. Basic J. Regionalization and Evaluation of Seasonal Human Bioclimate of Semnan Province. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. 2012; 2(5):4740-4750.
16. Nguyen Khanh Van. Bioclimatology study in modern geography. *Ukrainian Geographical Journal*. 2012; 3:35-39.
17. Pineda-Martínez L.F., Carbajal N., Medina Roldán E. *Regionalization and classification of bioclimatic zones in the central-northeastern region of México using principal component analysis (PCA)*. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., San Luis Potosí, SLP, 78216, México, 2006.
18. Eludoyin O.M., Adelekan I.O., Webster R., Eludoyin A.O. Air temperature, relative humidity, climate regionalization and thermal comfort of Nigeria. *International Journal of Climatology*. 2014. DOI: 10.1002/joc.3817
19. Demina D.M., Kandror I.S., Ratner E.M. The thermal state of a person as a basis for the physiological characteristics of the local climate and sanitary-climatic zoning. *Questions of Geography*. 1972; 89:51-54. (rus.).
20. Bagirov B.G. Issues of rational organization of labor, rest and drinking regime during work in the desert. *Adaptation of man and animals to the conditions of the desert*. Ashkhabad, Ylym, 1971; 52-58. (rus.).
21. Giyasov A.I., Barotov Yu.G. The thermal state of a person in the development of cities with a hot climate condition. *Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research*. 2018; 4(44):151-157. (rus.).
22. Buteva I.V., Shveinova T.G. Methodological issues of the integral analysis of medical and climatic conditions. *Complex Bioclimatic Research*. 1988; 97-108. (rus.).
23. Aizenshtat B.A. A method for assessing the thermal state of a person using a physical body in the form of a vertical cylinder. *Proceedings of SARNIGMI named after V.A. Bugaev. Questions of applied climatology and biometeorology*. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1978; 57(138):38-43. (rus.).

Received October 18, 2022.

Adopted in revised form on November 21, 2022.

Approved for publication on December 21, 2022.

BIONOTES: **Adham I. Giyazov** — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Design of Buildings and Structures; **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: 0000-0002-2471-5065; adham52@mail.ru.

Реконструкция Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря в условиях увеличения числа паломников и туристов

Елизавета Александровна Швецова-Шиловская

Государственный университет по землеустройству (ГУЗ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Восстановление православных монастырских комплексов Русского Севера сопряжено с рядом проблем, возникающих вследствие резкого роста числа паломников и туристов, а также возрождения традиционных и появления новых функций, осуществляемых монастырями. Исследуется реконструкция Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря Ленинградской области в современных условиях увеличения потока посетителей. К настоящему времени в монастыре были в той или иной мере восстановлены все основные традиционные функции монастырского комплекса.

Материалы и методы. Для выявления общих принципов, которые позволяют решить наиболее актуальные проблемы Зеленецкого монастыря, использован комплексный подход, включающий изучение исторических и проектных документов по архитектуре монастыря, анализ осуществляемых монастырем функций, анализ проведенных реставрационных работ, а также комплексную оценку результатов реализации предлагаемых рекомендаций.

Результаты. Предложены рекомендации по обустройству комплекса Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря. Они относятся к генеральному плану Зеленецкого монастыря и к зданиям его главных функциональных групп. Предложенные рекомендации разработаны на основе сформулированных и обоснованных ранее четырех общих принципов реконструкции и развития православных монастырских комплексов Русского Севера. Для разделения экскурсионных маршрутов и путей следования братии к местам службы планируется устройство невысоких внутренних оград по типу внутренних оград Кирилло-Белозерского или Валдайского Иверского монастырей.

Выводы. Разработаны рекомендации по реконструкции Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря, реализация которых приведет к оптимальному зонированию территории монастыря, сохранению как его архитектурного ансамбля, так и окружающего природного ландшафта, а также создаст наилучшие условия для посетителей монастыря и его братии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: православные монастыри, Русский Север, Зеленецкий Свято-Троицкий монастырь, принципы реконструкции и развития, паломники и туристы, генеральный план, зонирование территории

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Швецова-Шиловская Е.А. Реконструкция Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря в условиях увеличения числа паломников и туристов // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 1. С. 36–44. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.36-44

Автор, ответственный за переписку: Елизавета Александровна Швецова-Шиловская, LizaSh-Sh@list.ru.

Reconstruction of the Holy Trinity Zelenetsky monastery in the context of an increasing number of pilgrims and tourists

Elizaveta A. Shvetsova-Shilovskaya

State University of Land Use Planning; Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The reconstruction of Orthodox monastery complexes in the Russian North faces a number of challenges arising due to a dramatic increase in the number of pilgrims and tourists, as well as the restoration of traditional and emergence of new functions performed by monasteries. The author investigates the reconstruction of the Holy Trinity Zelenetsky Monastery ("the Zelenetsky Monastery") in the Leningrad region amid an increasing number of visitors. By now, all the main traditional functions of this monastery have been restored in some way.

Materials and methods. The authors use an integrated approach to identify the general principles that allow solving the most relevant problems of the Zelenetsky Monastery. This approach includes investigation of historical and design documents on the monastery architecture, analysis of functions performed by this monastery, analysis of restoration results, as well as the comprehensive assessment of the outcome of recommendations proposed here.

Results. We propose a number of specific recommendations aimed at improving the architectural ensemble of the Zelenetsky Monastery. These recommendations are concerned with the master plan of the Zelenetsky Monastery, as well as the buildings of its main functional groups. The recommendations, that were formulated and justified earlier, are based on four general principles dealing with the reconstruction and development of Orthodox monastery complexes in the Russian North under the present-day conditions.

Conclusions. The authors have developed recommendations for the reconstruction of the Zelenetsky Monastery. The implementation of these recommendations leads to the optimal zoning of the monastery area, preservation of its architectural ensemble and surrounding natural landscape. It also ensures the best conditions for monastery visitors and brethren.

KEYWORDS: Orthodox monasteries, Russian North, Holy Trinity Zelenetsky Monastery, principles of reconstruction and development, pilgrims and tourists, master plan, territory zoning

FOR CITATION: Shvetsova-Shilovskaya E.A. Reconstruction of the Holy Trinity Zelenetsky monastery in the context of an increasing number of pilgrims and tourists. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(1):36-44. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.36-44 (rus.).

Corresponding author: Elizaveta A. Shvetsova-Shilovskaya, LizaSh-Sh@list.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в нашей стране отмечается рост интереса к православной религии и Русской православной церкви (РПЦ). Одновременно с этим многие православные монастыри, в том числе и те, которые после революции 1917 г. были разрушены, заброшены или использовались не по прямому назначению, открылись вновь. Все это привело к резкому увеличению числа людей, посещающих монастыри. Так, например, десятки тысяч человек ежегодно посещают Валаамский и Соловецкий монастыри [1].

Посетителей православных монастырей можно разделить на две основные категории: паломники и туристы. Если паломники приезжают в монастыри с религиозными целями, то туристы совершают познавательные поездки. Туристов привлекают история и архитектура монастырей, экспонаты монастырских музеев, красоты окружающих территорий и т.д. [2]. К настоящему времени как паломничество, так и туризм стали для РПЦ значительными социальными явлениями, важными для ее религиозной, просветительской и хозяйственной деятельности. Вместе с тем наличие на монастырской территории большого числа посторонних людей может существенно затруднить как обычную жизнь монастыря, так и служение монахов и насельников, постоянно проживающих в монастырях [3]. Очевидно также, что увеличение числа паломников и туристов требует и развития соответствующей инфраструктуры монастырей: гостиниц; стоянок автотранспорта; пунктов питания; церквей, способных вместить много людей; помещений для показа художественных ценностей, хранящихся в монастырях, и т.д. [4–6]. Особенно тяжелое положение из-за увеличения паломников и туристов сложилось сегодня в монастырях Русского Севера [5]. Многие из них были фактически уничтожены в 20–30-е гг. XX в. или дошли до наших дней с серьезными утратами их зданий.

Очевидно, что решение проблем, вызванных увеличением потока посетителей, может быть найдено на основе комплексного подхода, ключевую роль в котором должны играть архитектурные методы. Воссоздание и развитие православных монастырских комплексов требует выделения «тихой» зоны, предназначенной для проживания насельников: монахов, послушников и трудников. Поэтому необходимо разделить территорию монастыря и его

здания между монастырской братией и посетителями. Таким образом, поиск архитектурных методов зонирования территории православных монастырей с учетом современных условий является важной проблемой.

Кроме того, требуются и архитектурно-планировочные решения по восстановлению и развитию исторической застройки монастырей. Такие решения должны включать приспособление монастырских зданий, которое учитывает функции, реализуемые монастырями в настоящее время, удовлетворяет всем санитарно-гигиеническим требованиям и обеспечивает доступ в здания лицам с ограниченными возможностями. В то же время формирование современной архитектурно-планировочной структуры не должно нарушать архитектурную композицию православных монастырей и природный ландшафт окружающих территорий. Поэтому разработка концепций развития православных монастырей в современных условиях представляет собой актуальную задачу архитектурной теории и практики.

Однако большинство работ, касающихся архитектуры монастырей севера России, носит исторический или описательный характер [7–12]. Имеется немного публикаций, рассматривающих проблемы реконструкции православных монастырских комплексов Русского Севера в условиях роста контингента паломников и туристов. Это труды И.К. Белоярской [13–15], С.В. Ильвицкой [16–18] и Л.А. Федотовой [19, 20]. Основные результаты по реконструкции и развитию православных монастырских комплексов, полученные в этих исследованиях, кратко обсуждаются в работе [5].

В статье [5] впервые предложены и научно обоснованы четыре общих принципа реконструкции и развития православных монастырских комплексов в современных условиях. Эти принципы включают: разделение монастырского комплекса на функциональные зоны, максимальную доступность территорий и зданий монастырских комплексов лицам с ограниченными возможностями, сохранение и восстановление объемно-пространственной композиции архитектурного ансамбля, сохранение и использование природного ландшафта монастырских территорий [5]. Разработанные общие принципы позволяют разработать конкретные рекомендации по реконструкции и развитию православных монастырей. Показано, что применение этих рекомен-

даций позволяет оптимальным образом зонировать территорию, сохранить архитектурный ансамбль монастырского комплекса и окружающий его природный ландшафт, а также создать наилучшие условия для насельников и посетителей монастыря [5]. Такие рекомендации были разработаны и применены для Валдайского Иверского, Спасо-Прилуцкого и Кирилло-Белозерского монастырей [6], а также для Спасо-Каменного монастыря [21]. Цель настоящего исследования — применение общих принципов реконструкции и развития православных монастырских комплексов к Зеленецкому Свято-Троицкому монастырю Ленинградской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В соответствии с подходом работы [5] при реконструкции того или иного монастыря не следует пытаться применить все общие принци-

пы одновременно. Вместо этого стоит выявить те принципы, которые позволят решить наиболее актуальные проблемы изучаемого монастыря. Этот подход был успешно реализован [6, 21]. Очевидно, что выявить их можно лишь на основе комплексного подхода. Поэтому методы исследования, использованные в данной работе, включают: 1) изучение исторических и проектных документов по архитектуре Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря; 2) анализ функций, осуществляемых монастырем в современных условиях; 3) анализ результатов реставрационных работ, выполненных к настоящему времени; 4) комплексную оценку результатов реализации рекомендаций, предлагаемых в настоящей статье.

Обратимся сначала к истории архитектуры и современной архитектурной организации Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря. Согласно Новгородским летописям, Зеленецкий Свято-Тро-

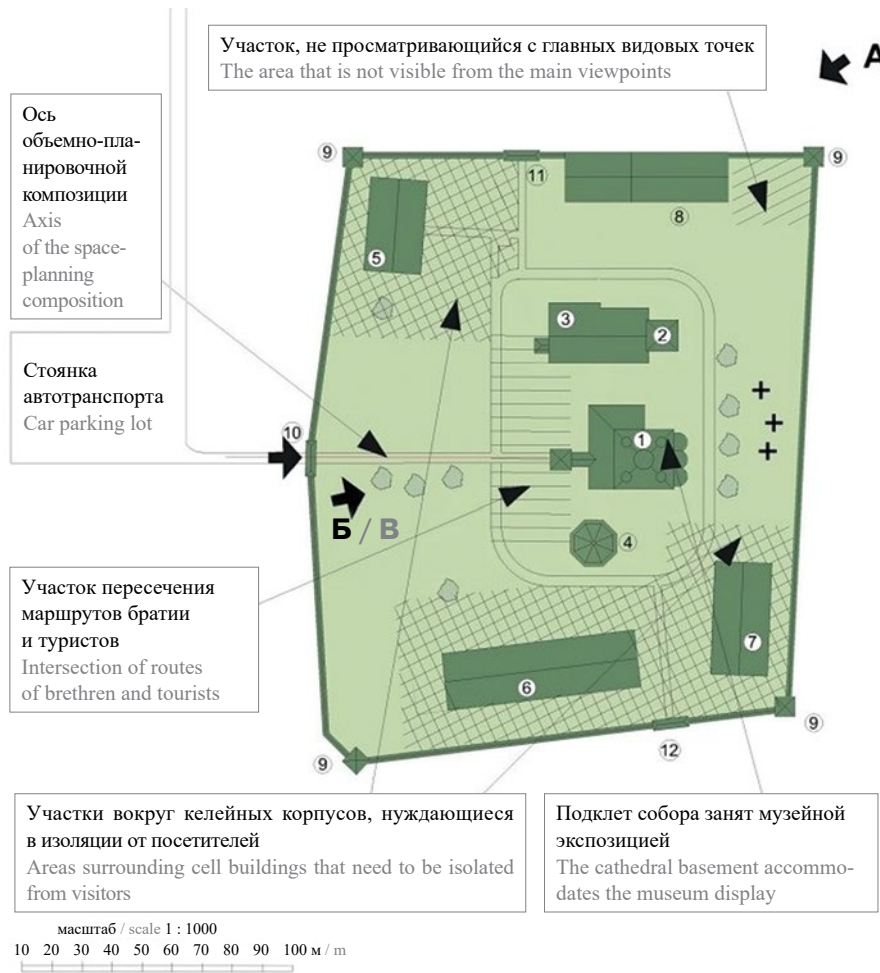


Рис. 1. Генеральный план Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря: А и Б — главные видовые точки на монастырь; 1 — Троицкий собор; 2 — Церковь Благовещения; 3 — трапезная палата; 4 — колокольня; 5 — настоятельский корпус; 6, 7 — келейные корпуса XVII в.; 8 — странноприимный корпус XIX в.; 9 — ограда с башнями; 10 — восточные ворота; 11 — северные ворота; 12 — южные ворота

Fig. 1. Master plan of the Zelenetsky Holy Trinity Monastery: A and B — main monastery scenery spots; 1 — Trinity cathedral; 2 — Church of the Annunciation; 3 — refectory; 4 — belfry; 5 — prior's building; 6, 7 — cell buildings of the 17th century; 8 — hospice building of the 19th century; 9 — fence and towers; 10 — east gate; 11 — north gate; 12 — south gate

ицкий монастырь (или Мартириева Зеленая пустынь) основан в 1564 г. [22–24]. Основатель монастыря преподобный Мартирий — единственный святой, прославленный воскрешением умершего. Мощи преподобного Мартирия, а также мощи пресвященного Корнилия [25], Новгородского митрополита, который принял постриг в Зеленецком монастыре, был его игуменом, и в него же удалился в старости, покоятся в подклете собора.

Первоначально здания монастыря рублены из дерева и окружены деревянной оградой. В 1612–1613 гг. монастырь был разграблен и сожжен шведами и много лет после этого находился в упадке. Каменное строительство в Зеленецком монастыре началось во второй половине XVII в., в 80-е гг. XVII в. монастырь полностью отстроен в камне. В это время возведены: пятиглавый Троицкий собор, Благовещенская церковь с трапезной палатой, трехъярусная колокольня, стены вокруг монастыря, а также келейные корпуса [24]. Однако после смерти митрополита Корнилия монастырь опять переживал трудные времена [22, 23].

После революции 1917 г. монастырь был упразднен, но богослужения в его храмах продолжались до 1927 г. В последующие годы здания монастыря занимали различные учреждения: трудовая колония, военный госпиталь и дом инвалидов. В 1992 г. монастырский комплекс в разрушенном состоянии передан Санкт-Петербургской епархии [25]. Была выполнена научная реставрация церквей и келейных корпусов монастыря: проведена реставрация Троицкого собора, Благовещенской церкви с трапезной палатой, колокольни, настоятельского корпуса с гостевыми кельями; восстановлены стены и башни ограды монастыря. Генеральный план Зеленецкого монастыря показан на рис. 1.

Несмотря на малую площадь Зеленецкого монастыря, его здания вполне достаточны для проживания и служения средней по численности монастырской общины. В три келейных двухэтажных корпуса (два братских и один настоятельский) входят все необходимые жилые и гостевые помещения, а также все помещения для обеспечения бытовых и культурных потребностей, медицинского обслуживания и размещения мастерских (пошивочных и художественных).

Анализ функций, осуществляемых Зеленецким Свято-Троицким монастырем в современных условиях, показал, что к настоящему времени в монастыре в том или ином объеме восстановлены все основные традиционные функции монастырского комплекса: культовая, жилая, функция обслуживания паломников и туристов, социально-бытовая, промысловая и торговая. Благодаря работе подворья монастыря в Санкт-Петербурге в храме-часовне во имя иконы Божией Матери «Всех Скорбящих Радость» с грошиками, паломническая служба

которого предоставляет паломникам и любителям истории и культуры информацию о монастыре, а также организует проезд в монастырь группам и отдельным экскурсантам, Зеленецкий монастырь становится известным и посещаемым. Поскольку большая часть посетителей приезжает в монастырь однодневными паломническими экскурсиями, проблема жилья не является для Зеленецкого монастыря самой острой. Тем не менее вблизи монастыря в поселке Зеленец была построена гостиница для туристов.

Анализ результатов выполненных реставрационных работ позволил определить наиболее актуальные проблемы Зеленецкого монастыря. К их числу относятся:

- 1) отсутствие здания музея (в настоящее время музейная экспозиция расположена в подклетах церкви);
- 2) отсутствие здания обслуживания экскурсий;
- 3) отсутствие церквей, доступных для лиц с ограниченными возможностями: ни одна из двух действующих церквей монастыря недоступна таким лицам;
- 4) пересечение потоков посетителей монастыря с маршрутами братии, так как движение посетителей на всей территории монастыря ничем не ограничено;
- 5) отсутствие изоляции келейных корпусов от посетителей монастыря.

Таким образом, несмотря на большой объем выполненных реставрационных работ по архитектурному комплексу Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря, выявленные проблемы развития требуют продолжить его обустройство.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные предложения по развитию Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря показаны на генеральном плане (рис. 2). В соответствии с принципом разделения монастырского комплекса на функциональные зоны [5] предлагается выделить в монастыре зону паломников и туристов перед входами в церкви монастыря, а также в северо-восточном углу монастырской территории. Для размещения большой группы посетителей, приезжающих в монастырь поработать, или паломников, не имеющих возможности заплатить за проживание, следует приспособить северный корпус монастыря. Сейчас этот корпус используется как складское и хозяйственное здание. Так, северному корпусу Зеленецкого монастыря будет возвращено его историческое приспособление в качестве странноприимного дома.

В настоящее время в монастыре нет ни специально оборудованных помещений, ни площадей для реализации необходимых монастырю и новых

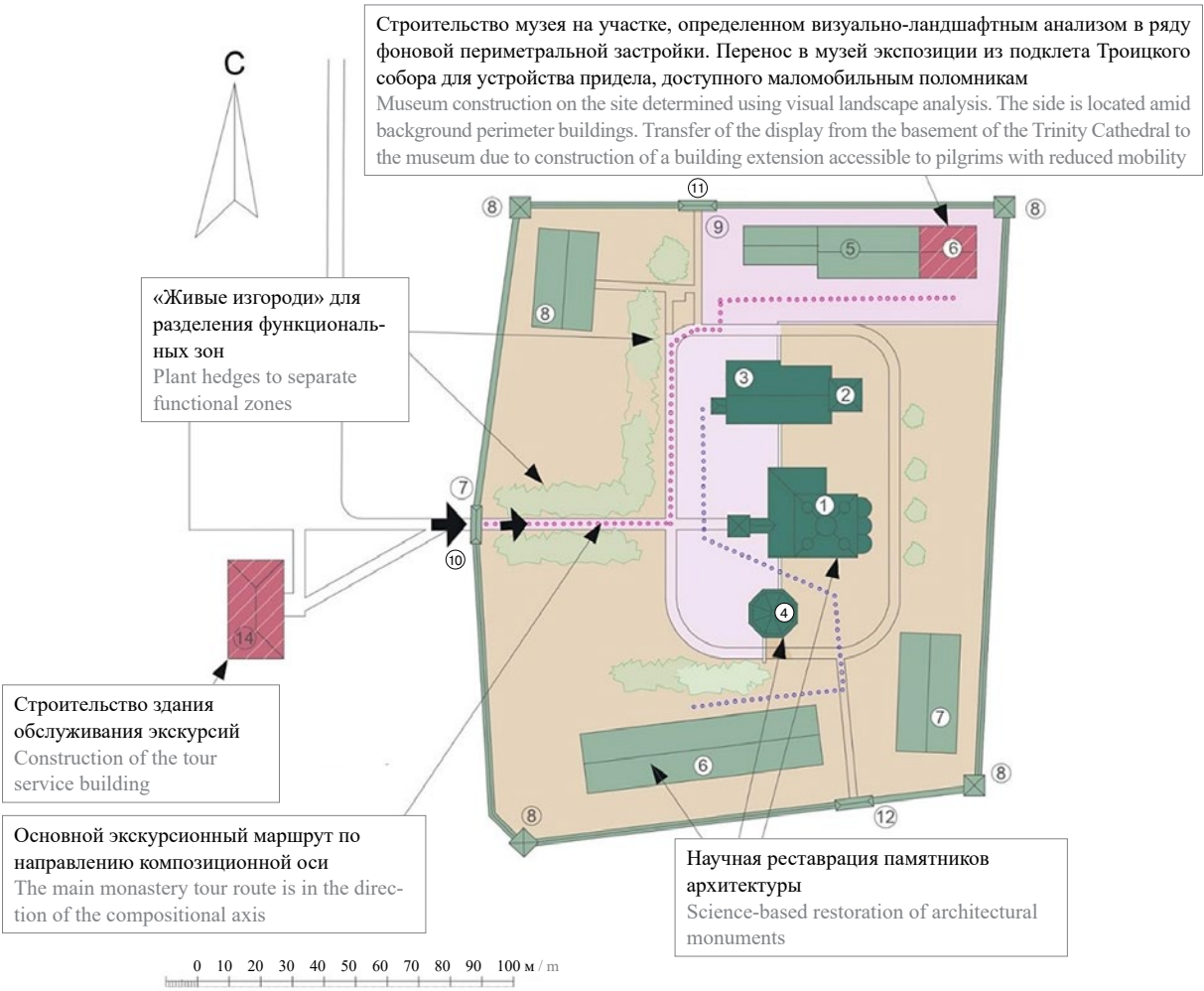


Рис. 2. Генеральный план и предложения по реконструкции и развитию Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря: 1 — Троицкий собор; 2 — Церковь Благовещения; 3 — трапезная палата; 4 — колокольня; 5 — настоятельский корпус; 6, 7 — келейные корпуса XVII в.; 8 — странноприимный корпус XIX в.; 9 — ограда с башнями; 10 — восточные ворота; 11 — северные ворота; 12 — южные ворота

Fig. 2. Master plan and recommendations for reconstruction and development of Zelenetsky Monastery: 1 — Trinity Cathedral; 2 — Church of Annunciation; 3 — refectory; 4 — belfry; 5 — prior’s building; 6, 7 — cell buildings of the 17th century; 8 — hospice building of the 19th century; 9 — fence and towers; 10 — east gate; 11 — north gate; 12 — south gate

для него музейной и туристической функций. Так как на территории отсутствует здание музея, экспозиция археологических и архивных материалов, собранная за годы восстановления действующего монастыря, занимает помещения в подклетах церквей. В то же время подклеты церквей можно использовать в качестве действующих храмов, что важно в условиях отсутствия в монастыре церквей, доступных паломникам с ограниченными возможностями. Это предложение реализует принцип максимальной доступности территорий и зданий монастырских комплексов лицам с ограниченными возможностями [5]. Таким образом, предлагается построить здание монастырского музея Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря. На основании результатов визуально-ландшафтного анализа для строительства здания музея выбирается место в северо-восточном углу монастырской террито-

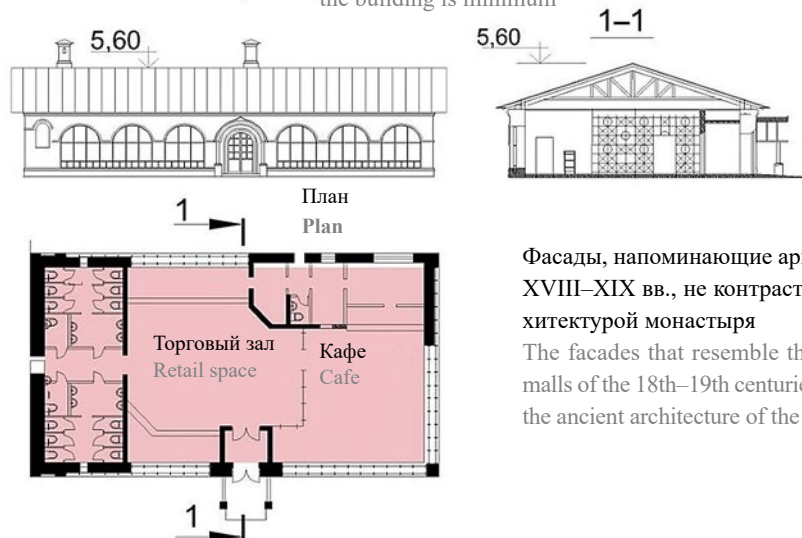
рии. Действительно, здание музея, расположенное в этом месте за монастырской оградой, почти не просматривается с внешней стороны монастыря. Внутри монастырской территории оно будет скрыто за Церковью Благовещения с трапезной палатой.

Перед западными воротами монастыря целесообразно возвести здание для обслуживания экскурсантов (рис. 3). Это здание, сделав удобным прием экскурсий, позволит создать оптимальные условия для реализации монастырем его туристической функции. Строительство предлагается осуществить в стороне от главных подходов к монастырю. В соответствии с принципом сохранения и восстановления объемно-пространственной композиции архитектурного ансамбля здание для обслуживания экскурсий не будет перекрывать видовых точек на панораму монастыря. Однако

Зеленецкий монастырь
Zelenetsky Monastery

Здание обслуживания экскурсий (торговый зал, кафе)
The tour service building has a shopping mall and a cafe

Расположение здания за пределами монастыря возле невысоких стен ограды требует минимальной высоты здания
The building location outside of the monastery close to not very high walls of the fence requires that the height of the building is minimum



Фасады, напоминающие аркаду торговых рядов XVIII–XIX вв., не контрастируют с древней архитектурой монастыря
The facades that resemble the arcade of shopping malls of the 18th–19th centuries, do not contrast with the ancient architecture of the monastery

Рис. 3. Здание обслуживания экскурсий Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря

Fig. 3. Tour service building of Zelenetsky Monastery

близость стен монастырской ограды накладывает определенные ограничения на его архитектурный образ (рис. 3). В этом небольшом одноэтажном здании, оборудованном для обслуживания всех групп посетителей, в том числе и лиц с ограниченными возможностями, следует разместить небольшой буфет и многофункциональный зал, который можно использовать как торговый, лекционный или выставочный.

Зона монастырской братии Зеленецкого монастыря состоит из двух участков: северо-западного участка вокруг настоятельского корпуса с въездом через северные ворота ограды и основной территории монастыря, на которой размещены два братских корпуса. Для разделения экскурсионных маршрутов и путей следования братии к местам службы планируется устройство невысоких внутренних оград по типу внутренних оград Кирилло-Белозерского или Валдайского Иверского монастырей [6]. Более полная визуальная изоляция келейных корпусов может быть достигнута с помощью отдельных групп деревьев. Тем самым будет обеспечена доступность части сакральной зоны для лиц с ограниченными возможностями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предложены и обоснованы рекомендации по реконструкции Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря в современных условиях увеличения

потока паломников и туристов. Рекомендации разработаны на основе четырех общих принципов реконструкции и развития православных монастырских комплексов Русского Севера, предложенных в работе [5]. Предлагается организовать в Зеленецком монастыре зону паломников и туристов. Для ее создания следует выделить участки перед входами в церкви монастыря, а также участок в северо-западном углу монастырской территории. С целью размещения паломников, не имеющих возможность оплатить проживание в гостинице, целесообразно приспособить северный корпус монастыря.

В данный момент в Зеленецком монастыре нет ни специально оборудованных помещений, ни площадей для реализации необходимых монастырю и новых для него музейной и туристической функции. Музейная экспозиция Зеленецкого монастыря располагается в подклетах церквей. В то же время ни одна из действующих церквей монастыря недоступна лицам с ограниченными возможностями. Предлагается разместить музейную экспозицию в специальном здании, а подклеты церквей использовать в качестве действующих храмов. Здание музея рекомендуется построить в северо-восточном углу территории монастыря. Выбор этого места обусловлен тем, что с внешней стороны здание музея не будет просматриваться за монастырской оградой, а внутри монастырской территории оно будет скрыто за Церковью Благовещения с трапезной палатой.

Предлагается также построить здание для обслуживания экскурсантов. Его целесообразно расположить перед западными воротами монастыря. В этом случае оно будет находиться в стороне от главных подходов к монастырю, не перекрывая видовые точки на панораму Зеленецкого монастыря. Близость стен монастырской ограды накладывает определенные ограничения на архитектурный образ предлагаемого здания. Для разделения экскурсионных маршрутов посетителей и путей

следования монастырской братии следует использовать невысокие внутренние ограды по образцу Кирилло-Белозерского и Валдайского Иверского монастырей. Реализация предложенных рекомендаций позволит оптимальным образом зонировать территорию Зеленецкого Свято-Троицкого монастыря, сохранить его архитектурный ансамбль и создать наилучшие возможные условия как для посетителей, так и для насельников монастыря.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бондаренко Д.В. Аспекты правового регулирования паломничества и религиозного туризма на современном этапе // Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса. 2015. Т. 9. № 3. С. 14–20. DOI: 10.12737/12525
2. Spock J.B. Northern Russian monastic culture // The tapestry of Russian Christianity. Studies in History and Culture. Department of Slavic and East European Languages and Cultures, Ohio State University, Columbus, Ohio, 2016. Pp. 229–259.
3. Ильвицкая С.В., Швецова-Шиловская Е.А. Спасение от паломников // Журнал Московской Патриархии. Храмоводитель : Приложение о церковном строительстве. 2013. № 2 (3). С. 48–56.
4. Федотова Л.А. Архитектурная организация исторических комплексов паломнического туризма : дис. ... канд. архитектуры. М., 2013. С. 22–63.
5. Швецова-Шиловская Е.А., Ильвицкая С.В. Принципы реконструкции и развития православных монастырей Русского Севера // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 2. С. 49–59. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-2-49-59
6. Швецова-Шиловская Е.А., Ильвицкая С.В. Реконструкция Валдайского Иверского, Спасо-Прилуцкого и Кирилло-Белозерского монастырей в современных условиях развития паломничества и туризма // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 5. С. 36–49. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-5-36-49
7. Бусева-Давыдова И.Л. Русские православные монастыри до 1917 года // Монастыри: Энциклопедический справочник. М. : Республика, 2000. С. 380–412.
8. Metropolitan Alfeyev H. Orthodox Christianity. Volume III: The Architecture, Icons, and Music of the Orthodox Church. New York : St. Vladimir's Seminary Press Yonkers, 2014. 369 p.
9. Brumfield W.C. Lost Russia: Photographing the Ruins of Russian Architecture. Durham ; London : Duke University Press, 1995. 130 p.
10. Brumfield W.C. A History of Russian architecture. Seattle : University of Washington Press, 2003. 744 p.
11. Brumfield W.C., Hensley H. Architecture at the end of the Earth: photographing the Russian North. Durham ; London : Duke University Press, 2015. 245 p.
12. Штриккер Г. Русская Православная Церковь в советское время (1917–1991). М. : Пропи-леи, 1995. 462 с.
13. Белоярская И.К. Монастырские комплексы Вологодской области: принципы современной реабилитации : дис. ... канд. арх. СПб., 2002. 205 с.
14. Белоярская И.К. Архитектурное наследие Вологодской области в контексте современной культуры // Русская культура нового столетия: проблемы изучения, сохранения и использования историко-культурного наследия. 2007. С. 474–476.
15. Белоярская И.К. Архитектурный ансамбль Спасо-Суморина монастыря // Преображение в веках: исследования и материалы по истории Спасо-Суморина монастыря. Вологда : Книжное наследие, 2007. С. 60–67.
16. Ильвицкая С.В. Закономерности формирования архитектуры православных монастырских комплексов: на примере балканских стран : дис. ... д-ра архитектуры. 2005. 432 с.
17. Ильвицкая С.В. Архитектура православных монастырей: традиции и современность. Кишинев : Лабиринт, 2007. 256 с.
18. Ильвицкая С.В. Архитектурно-компаративный аспект православных монастырей балканских стран и России. М. : Инфра-М, 2018. 99 с. DOI: 10.12737/monography_595c554f9329.58595437
19. Родионовская И.С., Федотова Л.А. Современная архитектура жилой среды религиозно-паломнического туризма // Жилищное строительство. 2013. № 1. С. 23–26.
20. Федотова Л.А. Религиозный туризм как путь возрождения историко-культурного наследия (на примере Коломенского района) // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 9. С. 41–42.
21. Швецова-Шиловская Е.А., Ильвицкая С.В. Возрождение Спасо-Каменного монастыря и развитие функциональной зоны паломников и туристов на берегу Кубенского озера // Техническая

эстетика и дизайн-исследования. 2021. Т. 3. № 1. С. 48–60. DOI: 10.34031/2687-0878-2021-3-1-48-60

22. Сойкин П.П. Зеленецкий Троицкий монастырь в Новоладожском уезде // Православные обители: Полное иллюстрированное издание православных русских монастырей в Российской Империи и на Афоне. СПб. : Воскресение, 1994. 712 с.

Поступила в редакцию 9 января 2023 г.

Принята в доработанном виде 23 января 2023 г.

Одобрена для публикации 23 января 2023 г.

ОБ АВТОРЕ: Елизавета Александровна Швецова-Шиловская — аспирант кафедры архитектуры; Государственный университет по землеустройству (ГУЗ); 105064, г. Москва, ул. Казакова, д. 15; ORCID: 0000-0002-9934-1993; LizaSh-Sh@list.ru.

23. Зеленецкий-Троицкий монастырь // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона, т. 82 и доп. 4. С.-Петербург: Изд. Ф.А. Брокгауз, И.А. Ефрон, 1890–1907, 86 т.

24. Описание Зеленецкого Троицкого монастыря. С.-Петербург : Типография департамента удьлов, 1883, 74 с.

25. Свято-Троицкий Зеленецкий монастырь. URL: www.zelenets.ru

REFERENCES

1. Bondarenko D.V. Regulatory aspects of pilgrimage and religious tourism at the present stage. *Bulletin of the Association of universities of tourism and service*. 2015; 9(3):14-20. DOI: 10.12737/12525 (rus.).

2. Spock J.B. Northern Russian monastic culture. *The tapestry of Russian Christianity. Studies in History and Culture*. Department of Slavic and East European Languages and Cultures, Ohio State University, Columbus, Ohio, 2016; 229-259.

3. Ilvitskaya S.V., Shvetsova-Shilovskaya E.A. Salvation from pilgrims. *Journal of the Moscow Patriarchate. Temple Maker: Church Building Appendix*. 2013; 2(3):48-56. (rus.).

4. Fedotova L.A. *Architectural organization of historical complexes for pilgrim tourism : diss. ... PhD Architecture*. Moscow, 2013; 22-63. (rus.).

5. Shvetsova-Shilovskaya E., Il'vickaya S. Principles of reconstruction and development of orthodox monasteries in Russian North. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2021; 2:49-59. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-2-49-59 (rus.).

6. Shvetsova-Shilovskaya E.A., Ilvitskaya S.V. Reconstruction of the Valdai Iversky, Spaso-Prilutsky and Kirillo-Belozersky monasteries in modern conditions for the development of pilgrimage and tourism. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2021; 5:36-49. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-5-36-49 (rus.).

7. Buseva-Davydova I.L. Russian orthodox monasteries before 1917. *Monasteries: The encyclopedic reference book*. Moscow, Republic Publ., 2000; 380-412. (rus.).

8. Metropolitan Alfeyev H. *Orthodox Christianity. Volume III: The Architecture, Icons, and Music of the Orthodox Church*. New York, St. Vladimir's Seminary Press Yonkers, 2014; 369.

9. Brumfield W.C. *Lost Russia: Photographing the Ruins of Russian Architecture*. Durham; London, Duke University Press, 1995; 130.

10. Brumfield W.C. *A History of Russian Architecture*. Seattle, University of Washington Press, 2003; 744.

11. Brumfield W.C., Hensley H. *Architecture at the end of the Earth: photographing the Russian North*. Durham; London, Duke University Press, 2015; 245.

12. Shtrikker G. *Russian Orthodox Church in the Soviet Period (1917-1991)*. Moscow, Propilei Publ., 1995; 462. (rus.).

13. Beloyarskaya I.K. *Monastery complexes of the Vologda region: principles of modern rehabilitation : diss. ... PhD Architecture*. St. Petersburg, 2002; 257. (rus.).

14. Beloyarskaya I.K. Architectural heritage of the Vologda region in the context of modern culture. *Russian culture of the new century: problems of study, conservation and use of historical and cultural heritage*. 2007; 474-476. (rus.).

15. Beloyarskaya I.K. Architectural ensemble of the Spaso-Sumorin monastery. *Transformation in the centuries: The studies and materials on history of the Spaso-Sumorin monastery*. Vologda, Book heritage Publ., 2007; 60-67. (rus.).

16. Ilvitskaya S.V. *Patterns in formation of architecture of Orthodox monastic complexes: On the example of Balkan countries : diss. ... doctor of architecture*. Moscow, 2005; 432. (rus.).

17. Ilvitskaya S.V. *Architecture of Orthodox monasteries: tradition and modernity*. Kishinev, Labirint Publ., 2007; 256. (rus.).

18. Ilvitskaya S.V. *The Architectural comparative aspect of orthodox monasteries in the Balkan countries and Russia*. Moscow, Infra-M Publ., 2018; 99. DOI: 10.12737/monography_595cac554f9329.58595437 (rus.).

19. Rodionovskaya I.S., Fedotova L.A. Modern architecture of the living environment of religious and pilgrim tourism. *Housing Construction*. 2013; 1:23-26. (rus.).

20. Fedotova L.A. Religious tourism as a way of reviving the historical and cultural heritage (by the example of the Kolomna district). *Industrial and Civil Engineering*. 2012; 9:41-42. (rus.).

21. Shvetsova-Shilovskaya E., Il'vickaya S. Reconstruction of Spaso-Kamenny monastery and development of a functional zone for pilgrims and tourists on the shore of the Kubensky lake. *Technical Aesthetics and Design Research*. 2021; 3(1):48-60. DOI: 10.34031/2687-0878-2021-3-1-48-60 (rus.).

22. Soikin P.P. Zelenetsky Trinity Monastery in Novoladozhsky county. *Complete illustrated description of Russian Orthodox monasteries in the Russian Empire and Mount Athos*. St. Petersburg, Resurrection, 1994; 712. (rus.).

23. Zelenetsky Trinity Monastery. *Encyclopedic Dictionary of Brockhaus and Efron*. V. 82 and add. 4, Saint-Petersburg, F.A. Brockhaus, I.A. Efron, 1890-1907:86. (rus.).

24. *Description of Zelenetsky Trinity Monastery*. Saint-Petersburg, Publishing house of apanage department, 1883; 74. (rus.).

25. *Holy Trinity Zelenetsky Monastery*. URL: www.zelenets.ru

Received January 9, 2023.

Adopted in revised form on January 23, 2023.

Approved for publication on January 23, 2023.

BIONOTES: Elizaveta A. Shvetsova-Shilovskaya — postgraduate of the Department of Architecture; State University of Land Use Planning; 15 Kazakova st., Moscow, 105064, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-9934-1993; LizaSh-Sh@list.ru.

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

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.012.45:539.415

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.45-58

Сопротивление срезу самонапряженных элементов без поперечного армирования с продольными стержнями из полимерных композитов. Теоретические основы расчетной модели

Виктор Владимирович Тур, Александр Петрович Воробей

Брестский государственный технический университет (БрГТУ); г. Брест, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. Проблема сопротивления срезу железобетонных элементов без поперечного армирования остается одной из наиболее дискуссионных в теории конструкций из бетона. Новый интерес к проблеме возник в связи с применением в конструкциях из бетона в качестве продольной арматуры стержней из полимерных композитов (FRP). Рассмотрены модели сопротивления срезу, внесенные в нормативные документы и сформулированные в виде предложений для проектирования элементов, армированных стальными стержнями и стержнями из FRP. Для формулирования модели сопротивления срезу элементов, армированных FRP в качестве основы, может быть принята теория критической наклонной трещины (CSCT). Ее положения не могут быть применены без соответствующих корректировок, касающихся определения ширины раскрытия критической наклонной трещины. Дополнительные корректировки в расчетную модель вносит использование напрягающего бетона.

Материалы и методы. Разработанная модифицированная модель основана на использовании итерационной процедуры, позволяющей определять вклад в полное сопротивление срезу каждой из основных его составляющих, с учетом формы (геометрии) потенциальной критической наклонной трещины, ее ширины раскрытия на уровне продольного армирования, рассчитанной по закону «сцепление–проскальзывание», установленного для FRP стержней.

Результаты. Разработана модифицированная механическая модель сопротивления срезу самонапряженных бетонных элементов, армированных стержнями из полимерных композитов, отличающаяся тем, что в ней помимо влияния начального самонапряжения при определении параметров трещинообразования в приопорной зоне учитывают закон сцепления для продольного армирования из FRP (модель «сцепление–проскальзывание»). Предложена итерационная процедура для вычисления составляющих и полного сопротивления срезу элементов из бетона (в том числе из напрягающего бетона) без поперечного армирования и с продольным армированием из стержней FRP.

Выводы. Представленная модель сопротивления срезу гибких самонапряженных элементов, армированных стержнями из полимерных композитов, отражает физическую сущность явления среза, применима к различным случаям армирования и схемам нагружения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сопротивление срезу, закон «сцепление–проскальзывание», теория критической трещины среза, стержни из полимерных композитов, напрягающий бетон, балочные элементы, итерационная процедура

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Тур В.В., Воробей А.П. Сопротивление срезу самонапряженных элементов без поперечного армирования с продольными стержнями из полимерных композитов. Теоретические основы расчетной модели // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 1. С. 45–58. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.45-58

Автор, ответственный за переписку: Виктор Владимирович Тур, profturvic@gmail.com.

Shear resistance of self-stressed elements without transverse reinforcement and with longitudinal bars made of polymer composites. Theoretical background

Viktar V. Tur, Aliaksandr P. Varabei

Brest State Technical University (BrSTU); Brest, Republic of Belarus

ABSTRACT

Introduction. The problem of shear resistance of reinforced concrete elements without transverse reinforcement remains, as before, one of the most controversial in the theory of concrete structures. The interest in the problem arose anew due to the use of polymer composite (FRP) bars as longitudinal reinforcement in concrete structures. Models of shear resistance, included in the regulatory documents and formulated as suggestions in terms of elements reinforced with steel bars and

FRP bars, are considered. It is shown that the critical shear crack theory (CSCT) can be adopted as a basis for formulating a model of shear resistance of FRP-reinforced elements. However, its provisions cannot be applied without appropriate adjustments, in particular, regarding the determination of the width of critical crack openings.

Materials and methods. To determine the shear strength of self-stressed concrete elements reinforced with FRP bars, a modified model was developed. As a result of an iterative procedure, this model makes it possible to determine an individual contribution of each of its main components to the total shear strength, taking into account the shape of a potential inclined crack, adopted in accordance with provisions of the Critical Shear Crack Theory (CSCT), as well as the width of the inclined crack opening at the level of longitudinal reinforcement, determined according to the bond-slip law for FRP bars.

Results. A modified mechanical shear resistance model of self-stressed concrete elements reinforced with polymer composite bars was developed. Its difference is that, in addition to the influence of initial self-stress, the bond law for longitudinal reinforcements made of FRP is taken into account (the modified bond-slip law) when cracking parameters are determined in the support zone. An iterative procedure is proposed for calculating the components and the total shear strength of elements made of concrete (including expansive concrete) without transverse reinforcement and with longitudinal reinforcement made of FRP bars.

Conclusions. The shear resistance model proposed for flexible self-stressed elements, reinforced with FRP bars, conveys the physical essence of the shear phenomenon and is applicable to various cases and loading patterns.

KEYWORDS: shear resistance, bond-slip law, Critical Shear Crack Theory, FRP, expansive concrete, beam elements, iterative procedure

FOR CITATION: Tur V.V., Varabei A.P. Shear resistance of self-stressed elements without transverse reinforcement and with longitudinal bars made of polymer composites. Theoretical background. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(1):45-58. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.45-58 (rus.).

Corresponding author: Viktor V. Tur, profturvic@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то что история исследования бетонных элементов, армированных стержнями из полимерных композитов (англ. Fiber Reinforced Polymer — FRP), насчитывает не одно десятилетие, их применение в строительной практике не нашло широкого распространения до настоящего времени. В силу специфических свойств таких стержней, в первую очередь — высокой прочности на растяжение при довольно низком модуле упругости (за редким исключением углекомпозитов CFRP или UHCFRP), практически линейной диаграммы деформирования « σ – ϵ » и характерном законе сцепления по контакту с окружающим бетоном, они не могут быть использованы в элементах конструкций по принципу простой замены, когда площадь поперечного сечения стержней из полимерного композита, устанавливаемых взамен стальных стержней, определяют через отношение прочностей материалов, а жесткостные характеристики — через отношение модулей упругости. Отдельным вопросом остается длительная прочность стержней из полимерного композита, зависящая в общем случае от уровня напряжений, действующих в эксплуатационной стадии, и условий окружающей среды. Очевидные преимущества арматуры из FRP (коррозионная стойкость в агрессивных средах, электро- и радиопроницаемость, эффективное соотношение прочность/удельный вес) теряются на фоне нарушения требований предельного состояния эксплуатационной пригодности (чрезмерная ширина раскрытия трещин и недопустимые прогибы) и преобладающей хрупкой формы разрушения при раздавливании бетона в сжатой зоне сечения при попытке поправить описанные выше недостатки. Кроме того, конструкции, армированные стержнями из полимерных композитов, имеют низкую пластическую деформативность и способность к диссипации энергии, что существенно

ограничивает их область применения, особенно в тех случаях, когда требуется выполнять проверки конструктивных систем в особых расчетных ситуациях. Сопротивление изгибу элементов, армированных стержнями из FRP, активно исследуется в последние годы, и некоторые из разработанных предложений возможно включить в нормативные документы [1–9]. При этом в качестве способа повышения эксплуатационных характеристик элементов, армированных стержнями из FRP, рассматривают их механическое предварительное напряжение. Следует отметить, что механическое натяжение стержней FRP сопряжено с целым рядом технологических проблем (необходимы специальные анкерные устройства, натяжное оборудование и т.д.) и предполагает участие высококвалифицированного персонала. С другой стороны, возникают вопросы, связанные с проектированием параметров натяжения таких напрягающих элементов (например, начальное контролируемое напряжение, потери от релаксации, требуемая средняя прочность бетона при передаче усилия обжатия за счет сил сцепления) и собственно передачей усилия обжатия (длина зоны передачи напряжений, длина анкеровки). В данном случае эффективным способом создания предварительного напряжения в процессе изготовления элемента является физико-химический способ, основанный на применении напрягающего бетона [10–12]. Напрягающий бетон в процессе твердения претерпевает расширение. Стержни из стали или FRP при наличии сцепления с бетоном служат связью, препятствующей его свободному расширению. Стержень, ограничивающий расширение напрягающего бетона, подвергается монотонному растяжению, и, стараясь вернуться в исходное состояние, обжимает бетонный элемент. Так называемый физико-химический способ предварительного напряжения позволяет получить самонапряжения требуемой величины, благоприятно влияющие

на трещиностойкость и жесткость конструктивного элемента. Экспериментально-теоретические основы самоупругающихся элементов из самоупругающегося бетона при различных условиях ограничения свободно-го расширения, включая стержни из FRP, детально рассмотрены в работах [10–12]. Основное внимание уделено влиянию самоупругающихся на трещиностойкость и жесткость сечений нормальных к продольной оси элемента из самоупругающегося бетона, армированного FRP. Было показано, что низкая, по сравнению со стальной арматурой, осевая жесткость ограничивающей связи позволяет получить значительные по величине связанные деформации и самоупругающиеся, которые сохраняются даже после реализации усадки [10–12]. Вместе с тем практически неизученными оставались вопросы, связанные с влиянием достигаемого самоупругающихся на сопротивление срезу сечений, наклонных к продольной оси элемента. С целью разработки модели сопротивления срезу элементов из самоупругающегося бетона на первом этапе выполнены экспериментально-теоретические исследования неразрезных балок с консольной частью, нагруженных равномерно распределенной и сосредоточенной нагрузками. Проведение экспериментальных исследований предусматривало анализ существующих моделей сопротивления срезу, предложенных различными авторами, в том числе балок, армированных FRP.

Анализ продемонстрировал, что сопротивление срезу железобетонных (ЖБ) элементов, в частности выполняемых без поперечного армирования,

по-прежнему, — одна из наиболее дискуссионных проблем современной теории железобетона. Основываясь на результатах экспериментальных исследований (к настоящему времени накоплены обширные базы данных, содержащие результаты испытаний на срез армированных бетонных элементов), предложен ряд эмпирических и полумпирических расчетных моделей сопротивления срезу^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13} [1–9], внесенных, либо претендующих на внесение в нормативные документы. Практически все известные модели сопротивления срезу элементов без поперечного армирования не универсальны и показывают при определенных условиях значительные расхождения с опытными данными, что является следствием как неопределенностей собственно расчетных моделей, так и некоторых базисных переменных, включенных в модели.

Установлено, что новым этапом исследования феномена среза послужило применение в качестве продольного армирования бетонных элементов стержней из полимерных композитов FRP.

В большинстве случаев модификацию традиционных моделей сопротивления срезу, применяемых для проектирования элементов, армированных FRP, выполняют путем простого умножения коэффициента продольного армирования на поправочный коэффициент, равный отношению модулей упругости FRP и стали, или через введение целого набора эмпирических коэффициентов. Такие подходы приняты при составлении норм ACI 440. R-03¹, ISIS-M03-01²,

¹ ACI 440.1R-03. Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars. ACI Committee 440. American Concrete Institute, 2003. 41 p.

² ISIS-M03-01. Reinforcing Concrete Structures with Fiber Reinforced Polymers // The Canadian Network of Centers of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures, ISIS Canada, University of Winnipeg. Manitoba, 2001. 81 p.

³ JSCE 1997. Recommendation for design and construction of concrete structures using continuous fiber reinforcing materials // Japan Society of Civil Engineers, Concrete Engineering Series 23. Tokyo, 1998. No. 81. 7 p.

⁴ GB 50608-2010. Technical code for infrastructure application of FRP composites. Beijing : China Metallurgical Construction Association, 2011. No. 735.

⁵ BISE-1999. Interim Guidance on the Design of Reinforced Concrete Structures using Fiber Composite Reinforcement. London : British Institution of Structural Engineers, 1999. 116 p.

⁶ CNR-DT 203-06. Guide for the design and construction of concrete structures reinforced with fiber-reinforced polymer bars. Advisory Committee Technical Recommendations Construction. Rome, 2006. 39 p.

⁷ CAN/CSA-S6-14. Canadian highway bridge design code. Canadian Standards Association. Toronto, 2014.

⁸ ACI 318-19. Building code requirements for structural concrete and commentary. ACI committee 318, American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich., 2019. 624 p.

⁹ Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton-und Spannbetontragwerken — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau : DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04. Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter / Deutsches Institut für Normung. Berlin, 2013. 389 p.

¹⁰ Eurocode 2: Design of Concrete Structures — Part 1-1: General rules — Rules for buildings, bridges and civil engineering structures (prEN 1992-1-1:2021) / CEN/TC 250/SC 2 N 1874. 2021. 383 p.

¹¹ ACI-440-15. Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars. ACI committee 440. American Concrete Institute, 2015. 88 p.

¹² AASHTO LRFD-17. Bridge Design Guide Specifications for GFRP Reinforced Concrete Bridge Decks and Traffic Railings. Washington DC : AASHTO, 2018.

¹³ CSA S806-12. Design and construction of building structures with fibre-reinforced polymers. Canadian Standards Association. Mississauga, ON, 2012. 206 p.

JSCE 97³, GB50608-10⁴, BISE-99⁵, CNR-DT203-2006⁶, CAN/CSA-S6⁷, ACI 318-19⁸, EN2⁹, prEN2¹⁰, в которых расчетные модели сопротивления срезу для элементов, армированных FRP, с учетом указанной модификации практически полностью повторяют модели сопротивления элементов со стальным армированием.

Другая группа полуэмпирических расчетных моделей сопротивления срезу опирается на положения модифицированной теории поля сжатия (MCFT) [13]. К ним относятся модели, внесенные в нормативные документы, такие как ACI 440. R-03¹, ISIS-M03-01², GB50608-10⁴, CNR-DT203-2006⁶, CAN/CSA-S6⁷, ACI 318-19⁸, ACI 440-15¹¹, AASHTO LRFD-2017¹², CAN/CSA-S806-2012¹³, а также расчетные модели, предложенные D. Gao и соавт. [1], A.K. El-Sayed и соавт. [2] (является упрощением модели ACI 440. R-03¹), H. Baghi и соавт. [3] и N.A. Hoult и соавт. [4].

В расчетных моделях сопротивления срезу, включенных в стандарты GB 50608-10⁴, ACI 440-15¹¹, а также в расчетных зависимостях, полученных в работе [1], реализована модификация, предложенная авторами публикации [14], которая опирается на предпосылку о том, что снижение сопротивления срезу бетонных элементов, армированных FRP стержнями, по сравнению с элементами со стальным армированием, есть результат сокращения высоты сжатой зоны сечения при равных уровнях нагружения.

Проверка сопротивления срезу элементов без поперечного армирования, включенная в проект документа prEN1992-1-1-202110, базируется на так называемой механической модели, полученной при использовании положений теории критической трещины среза (CSCT) [15].

Зависимости для расчета сопротивления срезу бетонных элементов, армированных полимерными композитами, предложенные в труде [5], базируются на положениях модели «подкосы и тяжи» (англ. strut-and-tie), использование которой рационально при проектировании высоких балок и при малых пролетах среза. Применение данной модели позволяет несколько сгладить влияние размерного (масштабного) фактора, но дает неоправданные запасы при проектировании гибких балок.

Предложена [6] эмпирическая расчетная модель сопротивления срезу, разработанная при оценке 68 бетонных элементов, армированных стеклопластиковой арматурой, с использованием генетического алгоритма (англ. Genetic algorithm — GA).

Автор исследования [7] разработал расчетную модель, опираясь на результаты испытаний 110 бетонных элементов, армированных FRP стержнями, используя подход на основе GA при помощи программирования экспрессии генов (GFP).

Решение в замкнутой форме для расчета сопротивления срезу при использовании механизмов

сегментарного подхода (англ. Mechanics segmental methodology) предложено в работе [8].

Рассмотрена модель, разработанная на основе многомерной нелинейной регрессии экспериментальных данных, с применением степенного уравнения [9]. Все перечисленные зависимости были подвергнуты предварительному статистическому анализу на фоне опытных данных (база данных включала 374 элемента).

Принимая во внимание все недостатки и преимущества проанализированных расчетных моделей сопротивления срезу ЖБ элементов и бетонных элементов, армированных FRP стержнями, разработана модифицированная расчетная модель сопротивления срезу самонапряженных бетонных элементов, армированных FRP стержнями, которая опирается на базовые положения теории критической трещины среза CSCT [15] и закон «сцепление–проскальзывание» для FRP стержней, включенная в *fib* MC 2010¹⁴, использованный при расчете ширины раскрытия критической трещины, наклонной к продольной оси элемента на уровне продольного армирования. Трещиностойкость сечений, наклонных к продольной оси элемента, и ширину раскрытия критической трещины определяют с учетом влияния достигнутого самонапряжения в рассматриваемом сечении.

В первой части статьи представлена теоретическая основа разработанной модифицированной модели сопротивления срезу самонапряженных бетонных элементов, армированных FRP, а во второй — результаты верификации этой модели на фоне собственных экспериментальных данных и результатов исследований различных авторов, а также феноменологический критерий сопротивления срезу и разработанная на его основе упрощенная расчетная модель, применимая для практических расчетов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Модель сопротивления срезу.

Предпосылки и допущения

Как следует из результатов анализа расчетных моделей, выполненного на фоне опытных данных и детально изложенного в работе [16], наиболее рациональный подход к разработке модели сопротивления срезу гибких балочных элементов, армированных стержнями из полимерных композитов, может быть основан на положениях механической модели критической трещины среза CSCT [17]. Согласно положениям этой модели, сопротивление срезу гибкого элемента без поперечного армирования может быть представлено как сумма наиболее значимых составляющих, включая поперечную силу, воспринимаемую за счет остаточных растягивающих напряжений V_{Res} , сопротивление срезу вследствие зацепления по берегам трещины V_{Agg} ,

¹⁴ *Fib* Model Code for Concrete Structures 2010. CEB-FIP Committee. Lausanne, 2013. 389 p.

нагельный эффект продольной арматуры V_{Dow} и сопротивление срезу сжатого подкоса V_{Com} , наклонного к продольной оси элемента [18–21]. Общий вклад всех составляющих сопротивления срезу будет зависеть от геометрической формы и кинематики потенциальной критической трещины среза (рис. 1), параметры которой были исследованы и описаны в работе [18]. Как следует из труда [18], все составляющие сопротивления срезу зависят в конечном итоге от одних и тех же механических параметров (прочности бетона на сжатие, эффективной высоты сечения, максимального размера зерна заполнителя и главным образом ширины раскрытия критической трещины).

Теория критической трещины среза CSCT основана на *предпосылке* о том, что сопротивление срезу гибкого ЖБ элемента без поперечного армирования и его способность к деформированию связаны критерием разрушения, в соответствии с которым в общем случае увеличение ширины раскрытия критической трещины, наклонной к продольной оси элемента, ведет к снижению сопротивления срезу. При этом одним из *основных допущений* модели

CSCT является то, что ширина раскрытия критической трещины среза пропорциональна произведению продольных относительных деформаций арматуры в контрольном сечении и эффективной высоты элемента $w \propto \varepsilon_s \cdot d$. Следует отметить, что данная форма записи $\varepsilon_s \cdot d$ предполагает равномерное распределение относительных деформаций ε_s на некоторой длине зоны передачи напряжений l_b . Другими словами, принятие данного допущения равносильно тому, что в стадии установившегося трещинообразования на этом участке происходит практически полное проскальзывание арматурного стержня относительно бетона.

Согласно результатам исследований, представленных в публикации [20], все трещины, образованные на длине участка l_b (предполагается, что это расстояние практически постоянное при пиковой нагрузке [20]) и относящиеся к критической трещине среза, суммируются и дают приблизительно линейный профиль горизонтальной составляющей ширины раскрытия трещины по вертикали (рис. 1, а).

Данное допущение, принятое в расчетной модели CSCT, связано с тем, что ширина раскры-

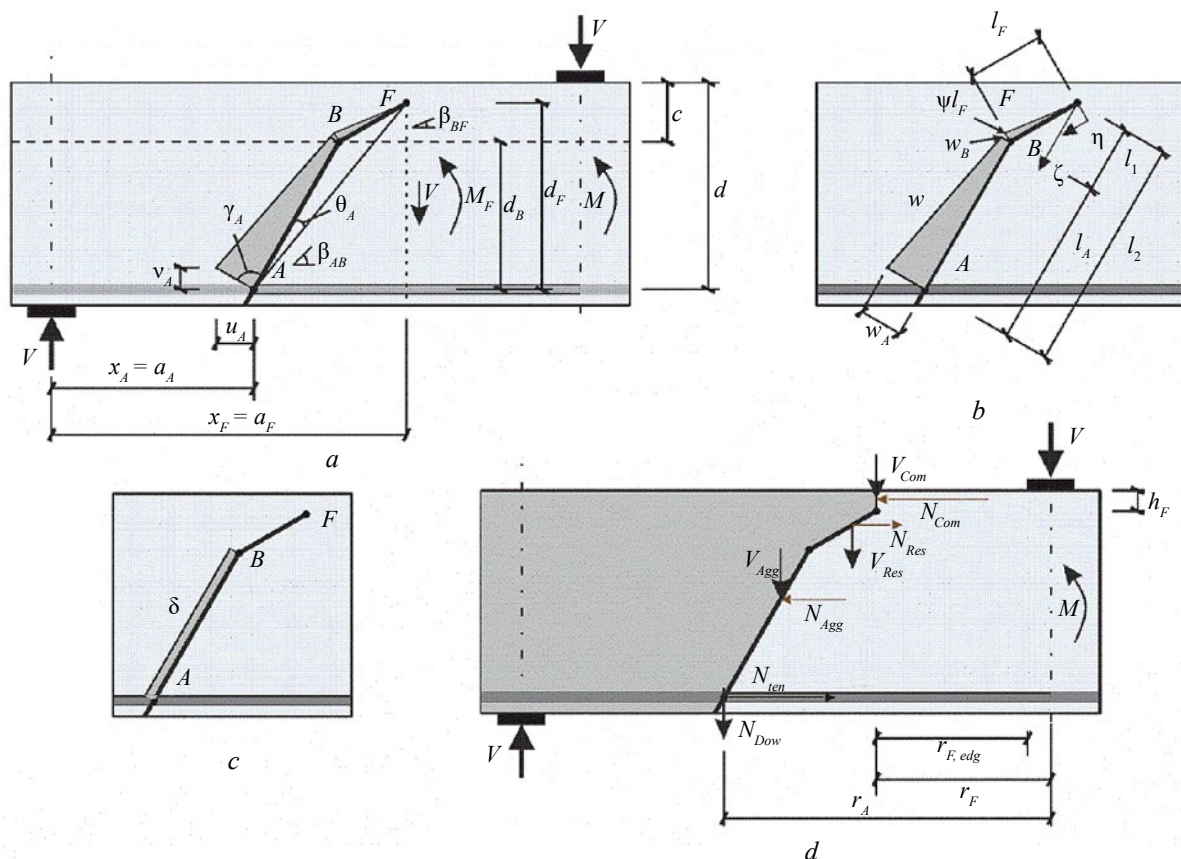


Рис. 1. Форма и кинематика критической трещины среза по CSCT [20]: а — кинематика и перемещение краев трещины в соответствии с принятой трещиной; б — раскрытие трещины w перпендикулярно поверхности трещины; в — скольжение трещины δ ; д — равновесие внешних и внутренних сил

Fig. 1. Shape and kinematics of a critical shear crack according to CSCT [20]: а — kinematics and displacement of the crack edges in accordance with the accepted crack; б — crack opening w perpendicular to the crack surface; в — crack slip δ ; д — balance of external and internal forces

тия критической наклонной трещины примерно на уровне центра тяжести сечения имеет большее раскрытие, чем на уровне продольной арматуры [15, 22], что не позволяет рассчитывать ширину раскрытия трещины на различном уровне по высоте сечения, применяя ее линейное распределение, рассчитанное с использованием угла поворота сечения с трещиной ψ (при условии, что центр вращения находится приблизительно в вершине наклонной трещины).

Принимая во внимание, что длина l_b получена по результатам экспериментальных исследований сопротивления срезу ЖБ элементов [20] и имеет эмпирическую основу, возникает сомнение о возможности прямого применения данного подхода при построении модели сопротивления срезу бетонного элемента, армированного стержнями из полимерных композитов. В первую очередь это связано с тем, что для элементов, армированных стержнями из полимерных композитов, наблюдается несколько иная картина образования и развития трещин, наклонных к продольной оси элемента.

С одной стороны, сказывается различие в физико-механических свойствах собственно стержней, а с другой — свойственные стержням из полимерных композитов законы сцепления, описывающие связь между касательными напряжениями и перемещениями.

В предложенной модифицированной расчетной модели сопротивления срезу элементов, армированных FRP, предлагается определять горизонтальную составляющую ширины раскрытия наклонных трещин u_A с использованием физического закона «сцепление–проскальзывание» для FRP стержней, включенного в *fib Model Code 2010*¹⁴. При этом фактическое распределение ширины раскрытия критической трещины, наклонной к продольной оси элемента w (рис. 2, *a*), заменяют на эквивалентное равномерное распределение со средним значением $\bar{w}$ (рис. 2, *b*). При этом ширина раскрытия трещины w'_A может быть получена путем умножения ширины раскрытия трещины w_A на коэффициент k_w (рис. 2, *b*).

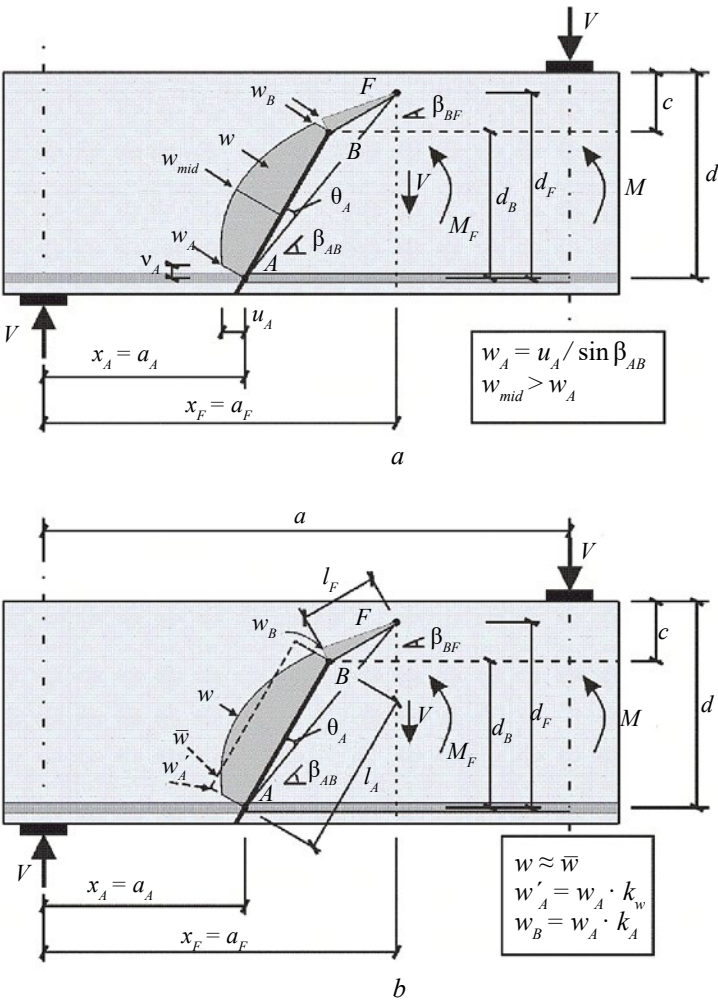


Рис. 2. Форма и кинематика наклонной трещины по предложенной модели: *a* — раскрытие трещины w перпендикулярно поверхности трещины; *b* — эквивалентное среднее значение $\bar{w}$

Fig. 2. Shape and kinematics of an inclined crack according to the proposed model: *a* — crack opening w perpendicular to the crack surface; *b* — equivalent mean value $\bar{w}$

Расчетные уравнения

Согласно принятому закону «сцепление–проскальзывание», горизонтальная составляющая ширины раскрытия наклонных трещин u_A в зависимости от усилия (напряжения) в продольной арматуре определяется из следующего выражения:

$$u_A = 2 \cdot s(l_b), \quad (1)$$

где $s(l_b)$ — величина смещения арматурного стержня относительно бетонного блока в зависимости от длины зоны передачи напряжения вдоль продольной арматуры.

Смещение FRP стержня относительно бетонного блока $s(l_b)$ определяют по модифицированному закону «bond-slip»¹⁴, предложенному авторами работы [23] (рис. 3), и процедуре установления длины передачи напряжений вдоль FRP стержней, предложенной в труде [24]. Аналогичные результаты были получены А.В. Драганом [25].

В предложенной расчетной модели потенциальная критическая трещина среза аппроксимирована билинейной формой, состоящей из квазивертикальной части (отрезок AB на рис. 2) и квазигоризонтальной части (отрезок BF на рис. 2), подобно тому, как это было принято в модели CSCT [18] (рис. 1). Опираясь на результаты экспериментальных исследований [18], угол наклона квазивертикального отрезка AB может быть рассчитан из следующего выражения:

$$\beta_{AB} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{M_{Ed,A}}{V_{Ed,A} \cdot d} \right)^{1/3} \right), \quad (2)$$

где $M_{Ed,A}$ — расчетное значение изгибающего момента в сечении, проходящем через точку A от соответствующего сочетания воздействий; $V_{Ed,A}$ — расчетная поперечная сила в сечении, проходящем через точку A от соответствующего сочетания воздействий.

Для рассматриваемого расчетного сечения определение ширины раскрытия наклонной трещины начинают с установления растягивающих напряжений в арматурных стержнях σ_f :

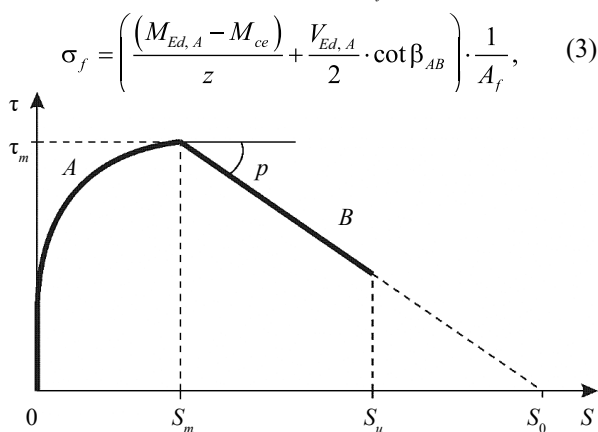


Рис. 3. Модифицированный закон сцепления «τ–s» [23]

Fig. 3. Modified «τ–s» bond law [23]

где M_{ce} — момент декомпрессии, определенный при сжимающих напряжениях, полученных на стадии самонапряжения напрягающего бетона (с учетом потерь); z — плечо внутренней пары сил, равное $0,9 \cdot d$; A_f — площадь поперечного сечения продольного армирования.

В зависимости от значений растягивающих напряжений σ_f выделяются два расчетных случая: первый случай — если $0 < \sigma_f \leq \sigma_1$ (восходящая ветвь диаграммы «τ–s» (рис. 3), где σ_1 — растягивающие напряжения в арматурных стержнях, соответствующие смещению s_m (пиковой точки диаграммы «τ–s»)); второй случай — если $\sigma_1 < \sigma_f \leq \sigma_2$ (нисходящая ветвь диаграммы «τ–s» (рис. 3), где σ_2 — растягивающие напряжения в арматурных стержнях, соответствующие смещению s_0 (рис. 3)).

Значения растягивающих напряжений σ_1 и σ_2 , согласно работе [24], определяются по выражениям (4) и (5), соответственно:

$$\sigma_1 = \sigma(s_m) = \sqrt{\frac{8 \cdot E_f \cdot \tau_m \cdot s_m}{\varnothing \cdot (1 + \alpha)}}, \quad (4)$$

где E_f — модуль упругости FRP стержня; τ_m — максимальное напряжение сцепления, равное для стержня FRP 14,65 МПа согласно [24]; s_m — смещение, соответствующее максимальному напряжению сцепления, равное 0,253 мм для стержней FRP по труду [24]; $\varnothing$ — диаметр арматурного стержня; α — параметр модифицированного закона «τ–s», равный 0,245 для стержней FRP согласно [24].

$$\sigma_2 = \sigma(s_0) = \sqrt{\frac{8 \cdot E_f}{\varnothing} \cdot A_{\tau, \max}}, \quad (5)$$

где

$$A_{\tau, \max} = \frac{\tau_m \cdot s_m}{1 + \alpha} + \frac{\tau_m \cdot s_m}{p}, \quad (6)$$

p — параметр модифицированного закона «τ–s», равный 0,128 для стержней FRP, согласно [24].

Первый случай ($0 < \sigma_f \leq \sigma_1$)

Значение величины смещения $s(l_b)$, соответствующее напряжениям в арматурных стержнях $0 < \sigma_f \leq \sigma_1$, определяется по следующему выражению, согласно публикациям [24, 25]:

$$s(l_b) = \left[\frac{2 \cdot \tau_m}{E_f \cdot \varnothing \cdot s_m^\alpha} \cdot \frac{(1 - \alpha)^2}{(1 + \alpha)} \right]^{1/(1 - \alpha)} \cdot l_b^{2/(1 - \alpha)} \leq s_m, \quad (7)$$

где l_b — длина зоны передачи напряжений вдоль продольной арматуры, которая определяется по зависимости (8):

$$l_b = l_0 \cdot \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_f} \right)^{2 \cdot \alpha / (1 + \alpha)} \cdot \left[\frac{1 + \alpha}{1 - \alpha} \right]; \quad (8)$$

$$l_0 = l_0(\sigma_f) = \frac{\varnothing \cdot \sigma_f}{4 \cdot \tau_m}. \quad (9)$$

Далее горизонтальная составляющая ширины раскрытия наклонной трещины u_A определяется по выражению (1).

Второй случай ($\sigma_1 < \sigma_f \leq \sigma_2$)

Величина смещения определяется из следующего выражения, согласно [24, 25]:

$$s(l_b) = \frac{1}{p} \cdot [1 + p - \cos(\omega \cdot (l_b - l_m))] + \sqrt{2p/(1+\alpha)} \cdot \sin(\omega \cdot (l_b - l_m)) \cdot s_m, \quad (10)$$

где

$$\omega = \frac{1}{l_m} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p}{1+\alpha}} \cdot \frac{(1+\alpha)}{(1-\alpha)}; \quad (11)$$

$$l_m = \frac{\sigma_1 \cdot \varnothing}{4 \cdot \tau_m} \cdot \frac{(1+\alpha)}{(1-\alpha)}; \quad (12)$$

$$l_b = l_m \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{(1-\alpha)^2}{2 \cdot p \cdot (1+\alpha)}} \times \left(\arcsin \sqrt{\frac{A_{c2}}{A_{t,max}}} - \arcsin \sqrt{1 - \frac{\varnothing \cdot \sigma_f^2}{8 \cdot E_f \cdot A_{t,max}}} \right) \right], \quad (13)$$

Как и в первом случае, горизонтальная составляющая ширины раскрытия наклонной трещины u_A рассчитывается по формуле (1).

Далее определяется ширина раскрытия наклонной трещины w_A в выбранном сечении по следующей зависимости:

$$w_A = \frac{u_A}{\sin \beta_{AB}}. \quad (14)$$

Принимая во внимание допущение о том, что $w \approx \bar{w}$ (рис. 2), ширина раскрытия трещины, наклонной к продольной оси на уровне продольной арматуры, заменяется эквивалентным средним значением ширины раскрытия w'_A :

$$w'_A = w_A \cdot k_w, \quad (15)$$

где k_w — коэффициент приведения, принимаемый, как было показано ранее, для установления эквивалентного среднего значения ширины раскрытия наклонной трещины. Опираясь на результаты собственных экспериментальных исследований [26], было выявлено, что независимо от типа продольного армирования коэффициент $k_w = 2,7$.

Следует отметить, что описанная выше особенность раскрытия критической наклонной трещины зафиксирована в собственных исследованиях балочных элементов, армированных как FRP стержнями, так и стержнями из стали, независимо от наличия самонапряжения бетона и схемы нагружения [26].

Принимая во внимание геометрическую форму и кинематику трещины, наклонной к продольной оси элемента (рис. 2), а также допущения расчетной модели, определяется вклад всех составляющих сопротивления срезу элементов, армированных FRP стержнями (поперечные силы, воспринимаемые за счет остаточных растягивающих напряжений бетона V_{Res} , зацепления по берегам наклонной трещины V_{Agg} , нагельного эффекта V_{Dow} и сопротивления наклонного сжатого бетонного подкоса V_{Com}), с учетом эквивалентного среднего значения ширины раскрытия наклонной трещины w'_A .

Составляющая поперечной силы, воспринимаемая за счет остаточных растягивающих напряжений бетона

Для определения остаточных растягивающих напряжений бетона используется зависимость Reinhardt [27], которая также была принята в расчетной модели CSCT [15] и имеет следующий вид:

$$\sigma_{res} = f_{ctm} \cdot \left(1 - \left(\frac{w}{w_c} \right)^{0,31} \right), \quad (16)$$

где w_c — максимальная ширина раскрытия трещины, при которой определяют остаточные растягивающие напряжения, вычисляемая по формуле из исследования [27]:

$$w_c = \frac{G_F}{f_{ctm}} \cdot \frac{(1+0,31)}{0,31}. \quad (17)$$

В выражении (17) энергия разрушения бетона G_F может быть рассчитана в соответствии с положениями **fib** Model Code 2010¹⁴ по следующей формуле:

$$G_F = 0,073 \cdot f_{cm}^{0,18}, \quad (18)$$

где f_{cm} — средняя прочность бетона при сжатии.

В выражениях (16), (17) средняя прочность бетона при растяжении f_{ctm} зависит от характеристической прочности бетона при сжатии f_{ck} и определяется по следующим формулам:

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}, \text{ при } f_{ck} \leq 50 \text{ МПа}; \quad (19)$$

$$f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + 0,1 \cdot (f_{ck} + 8)), \text{ при } f_{ck} > 50 \text{ МПа}.$$

Остаточные растягивающие напряжения бетона интегрируются по длине квазигоризонтального участка трещины **BF** (рис. 2):

$$V_{Res} = \int_0^{l_{F1}} \sigma_{Res} \cdot b \cdot \cos \beta_{BF} \cdot d\eta, \quad (20)$$

где l_{F1} — предел интегрирования; b — ширина элемента; β_{BF} — угол наклона квазигоризонтального участка наклонной трещины. Согласно модели CSCT [15], угол $\beta_{BF} = 22,5^\circ$ (соответствует собственным экспериментальным исследованиям [26]); η — переменная интегрирования.

При интегрировании напряжений возможны два случая [15]: 1) нормальные напряжения распределены по всей длине отрезка BF (рис. 3), тогда $l_{F1} = l_F$; 2) нормальные напряжения распределены только вблизи вершины трещины ($w_B \geq w_c$ (рис. 2)), тогда l_{F1} определяется по выражению:

$$l_{F1} = \frac{w_c}{w_B} \cdot l_F, \quad (21)$$

где l_F — длина квазигоризонтального участка наклонной трещины BF (рис. 2). Согласно положением модели CSCT [15], $l_F = d/6$ (d — эффективная высота сечения элемента), что было подтверждено собственными экспериментальными исследованиями [26]; w_B — ширина раскрытия наклонной трещины на квазигоризонтальном участке BF (см. рис. 2). В рассматриваемой расчетной модели ширина раскрытия трещины w_B зависит от ширины раскрытия наклонной трещины на уровне продольной арматуры и определяется как:

$$w_B = k_A \cdot w_A, \quad (22)$$

где k_A — коэффициент, связывающий ширину раскрытия квазигоризонтального участка трещины BF и ширину раскрытия наклонной трещины на уровне продольного армирования. По результатам исследования параметров наклонных трещин, образовавшихся в ходе статических испытаний восемнадцати балочных элементов при различных условиях нагружения [26], было установлено, что среднее значение коэффициента равно $k_A = 0,9$ независимо от типа армирования и наличия самонапряжения бетона.

Интегрируя выражение (20) с учетом выражения (21), формула для вычисления вклада остаточных растягивающих напряжений бетона в сопротивление срезу элемента без поперечного армирования примет следующий вид:

$$V_{Res} = \frac{l_F \cdot b \cdot \cos \beta_{BF} \cdot G_F}{w_B}. \quad (23)$$

Зацепление по берегам наклонной трещины

Составляющая поперечной силы V_{Agg} воспринимаемая за счет зацепления по берегам наклонной трещины может составлять от 22 до 59 % от полной поперечной силы $V_{C,R}$. Учитывая данное обстоятельство, предложено довольно много моделей, описывающих напряженное состояние шероховатого контакта, которые подробно рассмотрены в монографии [28]. В основном все исследуемые модели, изложенные в работах [28, 29], рассматривают за-

висимость между нормальными и касательными напряжениями, воспринимаемыми сечением с трещиной, как функцию от нормальных и тангенциальных перемещений, развивающихся в плоскости скольжения.

В работе [13], опираясь на результаты собственных исследований и публикацию [30], предложена параболическая зависимость, связывающая нормальные и касательные напряжения. Данная зависимость имеет вид:

$$\frac{\tau}{\tau_{\max}} = 0,18 + 1,64 \cdot \frac{\sigma}{\tau_{\max}} - 0,82 \cdot \left(\frac{\sigma}{\tau_{\max}} \right)^2, \quad (24)$$

где

$$\tau_{\max} = \frac{\sqrt{f_{cm}}}{0,3 + \frac{24 \cdot w}{16 + d_g}}; \quad (25)$$

d_g — максимальный размер зерна крупного заполнителя бетона.

Учитывая то обстоятельство, что в большинстве практических случаев эффект от действия на плоскость скольжения нормальных сжимающих напряжений σ при расчете сопротивления срезу элементов без поперечного армирования не оказывает существенного влияния, предложена упрощенная форма записи выражения для определения касательных напряжений [29]:

$$\tau = 0,18 \cdot \tau_{\max}. \quad (26)$$

Принимая во внимание геометрическую форму и кинематику наклонной трещины (рис. 2, б), допущения, принятые в расчетной модели, а также уравнения (25), (26), составляющая поперечной силы V_{Agg} , появляющаяся за счет зацепления по берегам наклонной трещины, примет следующий вид:

$$V_{Agg} = \frac{0,18 \cdot \sqrt{f_{cm}}}{0,3 + \frac{24 \cdot w'_A}{16 + d_g}} \cdot b \cdot l_A \cdot \sin \beta_{AB}, \quad (27)$$

где l_A — длина квазивертикального отрезка AB наклонной трещины (рис. 2, б), которая определяется как:

$$l_A = \frac{d - c}{\sin \beta_{AB}}. \quad (28)$$

Стоит отметить, что касательные напряжения не учитываются на квазигоризонтальном участке BF наклонной трещины (рис. 2), так как их влияние будет весьма незначительным [15].

Нагельный эффект

Нагельный эффект образуется за счет относительного вертикального смещения контактных

поверхностей трещины на уровне продольной арматуры [19]. В работе [15] предложено определять составляющую поперечной силы V_{Dow} , воспринимаемую за счет нагельного эффекта, по зависимости:

$$V_{Dow} = k_b \cdot f_{ct} \cdot n \cdot (b / n - \emptyset) \cdot 2 \cdot \emptyset \leq V_{sh, dow}, \quad (29)$$

где n — количество арматурных стержней в сечении; $V_{sh, Dow}$ — сопротивление срезу арматурных стержней из полимерных композитов, рассчитываемое по формуле:

$$V_{sh, Dow} = \tau_{sh} (2 \cdot A_s), \quad (30)$$

где τ_{sh} — предельное напряжение при поперечном срезе, определяемое при испытании стержней¹⁵; A_s — площадь продольного армирования; k_b — коэффициент снижения прочности при растяжении бетона, который зависит от величины растягивающихся деформаций в продольных стержнях и, согласно исследованию [15], определяется как:

$$0,25 \leq k_b = 0,063 \cdot \varepsilon_s^{-1/4} \leq 1. \quad (31)$$

Опираясь на результаты, представленные в работе [31], и учитывая, что стержни из полимерных композитов всегда работают упруго, значение коэффициента k_b принимают равным его нижней границе 0,25.

Сопротивление наклонного сжатого бетонно-го подкоса

Одной из составляющих, вносящих вклад в сопротивление срезу бетонных элементов, армированных FRP стержнями, является сопротивление наклонного сжатого бетонного подкоса. Его сопротивление имеет существенное влияние в гибких балках (пролет среза $a/d \geq 2,5$) в основном перед распространением участка BF наклонной трещины (рис. 1) в зоне сжатого бетона, а затем постепенно уменьшается по мере того, как наклон сжатого подкоса становится все более пологим. Однако для жестких балок (с пролетом среза $a/d < 2,5$) арочный эффект вносит главный вклад в сопротивление срезу. Базируясь на результатах исследования [15], в модели сопротивления срезу элементов, армированных FRP стержнями, составляющую поперечной силы V_{Com} рассчитывают по формуле, предложенной в труде [15]:

$$V_{Com} = \frac{k_{cl} \cdot h_F / r_F}{1 - k_{cl} \cdot h_F / r_F} \cdot (V_{res} + V_{agg} + V_{dow}), \quad (32)$$

где $k_{cl} = 0,5$ [15]; h_F — высота от вершины наклонной трещины до верхней грани элемента (точка F на рис. 1), определяемая по формуле:

$$h_F = d - d_F, \quad (33)$$

где

$$d_F = d - c + l_F \cdot \sin \beta_{BF}; \quad (34)$$

r_F — расстояние от вершины наклонной трещины до оси приложения нагрузки (точка F на рис. 1). Данное расстояние зависит от условий приложения нагрузки [15] и определяется по следующей зависимости:

- при действии сосредоточенной нагрузки:

$$r_F = a - a_F; \quad (35)$$

- при действии равномерно распределенной нагрузки:

$$r_F = (L / 2 - a_F) / 2, \quad (36)$$

где L — длина пролета, в котором приложена равномерно распределенная нагрузка; a — расстояние от оси опоры элемента до оси приложения сосредоточенной нагрузки; a_F — расстояние от оси опоры до вершины наклонной трещины (точка F на рис. 2), определяемое по формуле:

$$a_F = a_A + l_A \cdot \cos \beta_{AB} + l_F \cdot \cos \beta_{BF}, \quad (37)$$

где a_A — расстояние от оси опоры до расчетного сечения A (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Процедура расчета сопротивления срезу бетонных элементов, армированных FRP стержнями, по предложенной модели

Итерационная процедура для расчета сопротивления срезу бетонных элементов, армированных стержнями из полимерных композитов, включает следующие шаги:

- 1) выбирают положение критического сечения A по длине пролета элемента на расстоянии a_A от опоры (рис. 2);
- 2) определяют расчетное значение поперечной силы в сечении A ($V_{Ed, A}$);
- 3) рассчитывают угол наклона трещины β_{AB} по выражению (2);
- 4) устанавливают горизонтальную составляющую ширины раскрытия наклонной трещины u_A (выражение (1)) в выбранном сечении A , используя зависимости (3)–(13);
- 5) определяют ширину раскрытия наклонной трещины w_A на уровне продольной арматуры по формуле (14) и приводят ее к эквивалентному среднему значению w'_A по выражению (15);

¹⁵ ГОСТ 31938-2011. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций : введ. 04.12.2012. Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве, 2012. 46 с.

6) в зависимости от геометрии трещины и ее кинематики (рис. 2) рассчитывают составляющие сопротивления срезу V_{Res} , V_{Agg} , V_{Dow} и V_{Com} по формулам (16)–(37), в которых применяют эквивалентную среднюю ширину раскрытия наклонной трещины (см. пункт 5).

Полное сопротивление срезу устанавливают по выражению:

$$V_{C,R} = V_{Res} + V_{Agg} + V_{Dow} + V_{Com}; \quad (38)$$

7) проверяют условие $V_{Ed,A} = V_{C,R}$. В случае невыполнения данного условия переходят к шагу 2, где определяют другое расчетное значение поперечной силы в сечении $A(V_{Ed,A})$ и продолжают расчет сопротивления срезу.

Данную итерационную процедуру выполняют для различных сечений на расстоянии от опоры $a_{A,i}$ по длине пролета элемента и выбирают минимальное значение $V_{C,R}$, которое и будет предельным значением перерезывающей силы бетонного элемента, армированного FRP стержнями.

Преимуществом данного подхода является то, что его можно применять к общим или более сложным случаям при различных условиях нагружения. Это достигается при учете влияния основных базисных переменных расчетной модели (расположение

расчетного сечения, ширина раскрытия наклонной трещины, коэффициент продольного армирования, механические характеристики FRP армирования, размер крупного заполнителя, прочность бетона на сжатие) при определении вклада различных составляющих в общее сопротивление срезу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Опираясь на экспериментально-теоретические положения известных моделей сопротивления срезу и принимая во внимание их неопределенности, выявленные статистическим анализом на фоне опытных данных, разработана модифицированная механическая модель сопротивления срезу самоупроченных бетонных элементов, армированных стержнями из полимерных композитов, отличающаяся тем, что в ней помимо влияния начального самоупрочения при определении параметров трещинообразования в приопорной зоне учитывают закон сцепления для продольного армирования из FRP (модель «сцепление–проскальзывание»). Предложена итерационная процедура для вычисления составляющих и полного сопротивления срезу элементов из бетона (в том числе из напрягающего бетона) без поперечного армирования и с продольным армированием из стержней FRP.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gao D., Zhang C.H. A model for shear strength of FRP bar reinforced concrete beams without stirrups // *Advances in Civil Engineering*. 2020. Vol. 2020. Pp. 1–9. DOI: 10.1155/2020/8881463
2. El-Sayed A.K., El-Salakawy E.F., Benmokrane B. Shear strength of concrete beams reinforced with FRP bars: design method // SP-230: 7th International Symposium on Fiber-Reinforced (FRP) Polymer Reinforcement for Concrete Structures. 2005. DOI: 10.14359/14875
3. Baghi H., Barros J.A.O., Kaszubska M., Kotynia R. Shear behavior of concrete beams reinforced exclusively with longitudinal glass fiber reinforced polymer bars: Analytical model // *Structural Concrete*. 2018. Vol. 19. Issue 1. Pp. 162–173. DOI: 10.1002/suco.201700175
4. Hoult N.A., Sherwood E.G., Bentz E.C., Collins M.P. Does the use of FRP reinforcement change the one-way shear behavior of reinforced concrete slabs? // *Journal of Composites for Construction*. 2008. Vol. 12. Issue 2. Pp. 125–133. DOI: 10.1061/(asce)1090-0268(2008)12:2(125)
5. Mari A., Cladera A., Oller E., Bairán J. Shear design of FRP reinforced concrete beams without transverse reinforcement // *Composites Part B: Engineering*. 2014. Vol. 57. P. 228–241. DOI: 10.1016/j.compositesb.2013.10.005
6. Nehdi M., El Chabib H., Aly Saïd A. Proposed shear design equations for FRP-reinforced concrete beams based on genetic algorithms approach // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2007. Vol. 19. Issue 12. Pp. 1033–1042. DOI: 10.1061/(asce)0899-1561(2007)19:12(1033)
7. Kara I.F. Prediction of shear strength of FRP-reinforced concrete beams without stirrups based on genetic programming // *Advances in Engineering Software*. 2011. Vol. 42. Issue 6. Pp. 295–304. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2011.02.002
8. Zhang T., Oehlers D.J., Visintin P. Shear strength of FRP RC beams and one-way slabs without stirrups // *Journal of Composites for Construction*. 2014. Vol. 18. Issue 5. DOI: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000469
9. Ali A.H., Mohamed H.M., Chaliors C.E., Deifalla A. Evaluating the shear design equations of FRP-reinforced concrete beams without shear reinforcement // *Engineering Structures*. 2021. Vol. 235. P. 112017. DOI: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2021.112017
10. Semianiuk V., Tur V., Semianiuk S. Influence of the initial prestressing on the crack resistance of the self-stressed members reinforced with steel and FRP bars // *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 262. Pp. 08004. DOI: 10.1051/mateconf/201926208004
11. Тур В.В., Семенов О.С. Применение базальтопластиковой арматуры при изготовлении самоупроченных элементов

пряженных конструкций // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. 2013. № 1 (79). С. 99–103.

12. Tur V., Herrador M.F., Semianuk V. Self-stressed concrete members reinforced with FRP bars // High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet. 2018. Pp. 431–438. DOI: 10.1007/978-3-319-59471-2_52

13. Vecchio F.J., Collins M.P. The modified compression-field theory for reinforced concrete elements subjected to shear // ACI Journal Proceedings. 1986. Vol. 83. Issue 2. DOI: 10.14359/10416

14. Tureyen A.K., Frosch R.J. Shear tests of FRP-reinforced concrete beams without stirrups // ACI Structural Journal. 2002. Vol. 99. Issue 4. DOI: 10.14359/12111

15. Cavagnis F. Shear in reinforced concrete without transverse reinforcement: from refined experimental measurements to mechanical models : thesis for PhD in Civil Engineering. Structural concrete laboratory (IBETON), École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), 2017. 201 p. DOI: 10.5075/epfl-thesis-8216

16. Тур В.В., Воробей А.П. Новые подходы к определению сопротивления срезу балочных элементов без поперечного армирования: часть 1 — обзор расчетных моделей // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. 2019. № 1. С. 15–22.

17. Muttoni A., Ruiz M.F. Shear strength of members without transverse reinforcement as function of critical shear crack width // ACI Structural Journal. 2008. Vol. 105. Issue 2. P. 163–172. DOI: 10.14359/19731

18. Ruiz M.F., Muttoni A., Sagaseta J. Shear strength of concrete members without transverse reinforcement: a mechanical approach to consistently account for size and strain effects // Engineering Structures. 2015. Vol. 99. Pp. 360–372. DOI: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2015.05.007

19. Campana S., Ruiz M.F., Anastasi A., Muttoni A. Analysis of shear-transfer actions on one-way RC members based on measured cracking pattern and failure kinematics // Magazine of Concrete Research. 2013. Vol. 65. Issue 6. Pp. 386–404. DOI: 10.1680/mac.12.00142

20. Cavagnis F., Ruiz M.F., Muttoni A. An analysis of the shear-transfer actions in reinforced concrete members without transverse reinforcement based on refined experimental measurements // Structural Concrete. 2018. Vol. 19. Issue 1. Pp. 49–64. DOI: 10.1002/suco.201700145

21. Cavagnis F., Ruiz M.F., Muttoni A. Shear failures in reinforced concrete members without transverse reinforcement: An analysis of the critical shear crack development on the basis of test results // Engineering Structures. 2015. Vol. 103. Pp. 157–173. DOI: 10.1016/j.engstruct.2015.09.015

22. Koščak J., Damjanović D., Bartolac M., Duvnjak I. Shear behavior of RC beams without transverse reinforcement: An analysis of crack kinematics and transfer mechanisms based on stereophotogrammetric measurements // Engineering Structures. 2022. Vol. 255. P. 113886. DOI: 10.1016/j.engstruct.2022.113886

23. Eligehausen R., Popov E.P., Bertero V.V. Local Bond stress slip relationship of deformed bars under generalized excitations. Berkeley : University of California, 1982.

24. Cosenza E., Manfredi G., Realfonzo R. Development length of FRP straight rebars // Composites Part B: Engineering. 2002. Vol. 33. Issue 7. Pp. 493–504. DOI: 10.1016/S1359-8368(02)00051-3

25. Tur V., Drahan A. Analytical model for cracking behavior of RC-members element simulation // Analytical models and new concepts in concrete and masonry structures : 6th International conference AMCM'2008. Polska : Uniwersytet Łódź, 2008.

26. Воробей А.П., Тур В.В. Экспериментальные исследования сопротивления срезу самонапряженных бетонных балок, армированных FRP при различных условиях нагружения // Вестник Полоцкого государственного университета. Строительство. Прикладные науки. Серия F. 2021. № 9. С. 41–57.

27. Reinhardt H.W. Fracture Mechanics of an Elastic Softening Material like Concrete // Heron. 1984. Vol. 29. Issue 2. P. 42.

28. Тур В.В., Кондратчик А.А. Расчет железобетонных конструкций при действии перерезывающих сил. Брест : БГТУ, 2000. 400 с.

29. Collins M.P., Mitchell D. A rational approach concrete structures. N. J. : Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, 1991. 766 p.

30. Walraven J.C., Reinhardt H.W. Theory and experiments on the mechanical behavior of cracks in plain and reinforced concrete subjected to shear loading // Heron. 1981. Vol. 26. Issue 1A. Pp. 5–68.

31. Ruiz M.F., Plumey S., Muttoni A. Interaction between bond and deviation forces in spalling failures of arch-shaped members without transverse reinforcement // ACI Structural Journal. 2010. Vol. 107. Issue 03. DOI: 10.14359/51663700

Поступила в редакцию 12 апреля 2022 г.

Принята в доработанном виде 14 декабря 2022 г.

Одобрена для публикации 25 декабря 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: Виктор Владимирович Тур — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов; Брестский государственный технический университет (БрГТУ); Республика Беларусь, 224017, г. Брест, ул. Московская, д. 267; profuturvic@gmail.com;

Александр Петрович Воробей — кандидат технических наук, ассистент кафедры архитектуры; **Брестский государственный технический университет (БрГТУ)**; Республика Беларусь, 224017, г. Брест, ул. Мо-сковская, д. 267; phdavvarabei@gmail.com.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Gao D., Zhang C.H. A model for shear strength of FRP bar reinforced concrete beams without stirrups. *Advances in Civil Engineering*. 2020; 2020:1-9. DOI: 10.1155/2020/8881463
2. El-Sayed A.K., El-Salakawy E.F., Benmokrane B. Shear strength of concrete beams reinforced with FRP bars: design method. *SP-230: 7th International Symposium on Fiber-Reinforced (FRP) Polymer Reinforcement for Concrete Structures*. 2005. DOI: 10.14359/14875
3. Baghi H., Barros J.A.O., Kaszubska M., Kotyńia R. Shear behavior of concrete beams reinforced exclusively with longitudinal glass fiber reinforced polymer bars: Analytical model. *Structural Concrete*. 2018; 19(1):162-173. DOI: 10.1002/suco.201700175
4. Hoult N.A., Sherwood E.G., Bentz E.C., Collins M.P. Does the use of FRP reinforcement change the one-way shear behavior of reinforced concrete slabs? *Journal of Composites for Construction*. 2008; 12(2):125-133. DOI: 10.1061/(asce)1090-0268(2008)12:2(125)
5. Mari A., Cladera A., Oller E., Bairán J. Shear design of FRP reinforced concrete beams without transverse reinforcement. *Composites Part B: Engineering*. 2014; 57:228-241. DOI: 10.1016/j.compositesb.2013.10.005
6. Nehdi M., El Chabib H., Aly Saïd A. Proposed shear design equations for FRP-reinforced concrete beams based on genetic algorithms approach. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2007; 19(12):1033-1042. DOI: 10.1061/(asce)0899-1561(2007)19:12(1033)
7. Kara I.F. Prediction of shear strength of FRP-reinforced concrete beams without stirrups based on genetic programming. *Advances in Engineering Software*. 2011; 42(6):295-304. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2011.02.002
8. Zhang T., Oehlers D.J., Visintin P. Shear strength of FRP RC beams and one-way slabs without stirrups. *Journal of Composites for Construction*. 2014; 18(5). DOI: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000469
9. Ali A.H., Mohamed H.M., Chalioris C.E., Deifalla A. Evaluating the shear design equations of FRP-reinforced concrete beams without shear reinforcement. *Engineering Structures*. 2021; 235:112017. DOI: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2021.112017
10. Semianiuk V., Tur V., Semianiuk S. Influence of the initial prestressing on the crack resistance of the self-stressed members reinforced with steel and FRP bars. *MATEC Web of Conferences*. 2019; 262:08004. DOI: 10.1051/mateconf/201926208004
11. Tur V.V., Siemieniuk O.S. Application of basalt FRPC-reinforcement in the manufacturing of self-stressed structural elements. *Bulletin of the Brest State Technical University. Construction and architecture*. 2013; 1(79):99-103. (rus.).
12. Tur V., Herrador M.F., Semianiuk V. Self-stressed concrete members reinforced with FRP bars. *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet*. 2018; 431-438. DOI: 10.1007/978-3-319-59471-2_52
13. Vecchio F.J., Collins M.P. The modified compression-field theory for reinforced concrete elements subjected to shear. *ACI Journal Proceedings*. 1986; 83(2). DOI: 10.14359/10416
14. Tureyen A.K., Frosch R.J. Shear tests of FRP-reinforced concrete beams without stirrups. *ACI Structural Journal*. 2002; 99(4). DOI: 10.14359/12111
15. Cavagnis F. *Shear in reinforced concrete without transverse reinforcement: from refined experimental measurements to mechanical models : thesis for: PhD in Civil Engineering*. Structural concrete laboratory (IBETON), École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), 2017. 201 p. DOI: 10.5075/epfl-thesis-8216.
16. Tur V.V., Vorobey A.P. New approaches to determining the shear resistance of beam elements without transverse reinforcement: part 1 — a review of computational models. *Bulletin of the Brest State Technical University. Construction and architecture*. 2019; 1:15-22. (rus.).
17. Muttoni A., Ruiz M.F. Shear strength of members without transverse reinforcement as function of critical shear crack width. *ACI Structural Journal*. 2008; 105(2):163-172. DOI: 10.14359/19731
18. Ruiz M.F., Muttoni A., Sagaseta J. Shear strength of concrete members without transverse reinforcement: a mechanical approach to consistently account for size and strain effects. *Engineering Structures*. 2015; 99:360-372. DOI: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2015.05.007
19. Campana S., Ruiz M.F., Anastasi A., Muttoni A. Analysis of shear-transfer actions on one-way RC

members based on measured cracking pattern and failure kinematics. *Magazine of Concrete Research*. 2013; 65(6):386-404. DOI: 10.1680/mac.12.00142

20. Cavagnis F., Ruiz M.F., Muttoni A. An analysis of the shear-transfer actions in reinforced concrete members without transverse reinforcement based on refined experimental measurements. *Structural Concrete*. 2018; 19(1):49-64. DOI: 10.1002/suco.201700145

21. Cavagnis F., Ruiz M.F., Muttoni A. Shear failures in reinforced concrete members without transverse reinforcement: An analysis of the critical shear crack development on the basis of test results. *Engineering Structures*. 2015; 103:157-173. DOI: 10.1016/j.engstruct.2015.09.015

22. Koščak J., Damjanović D., Bartolac M., Duvnjak I. Shear behavior of RC beams without transverse reinforcement: An analysis of crack kinematics and transfer mechanisms based on stereophotogrammetric measurements. *Engineering Structures*. 2022; 255:113886. DOI: 10.1016/j.engstruct.2022.113886

23. Eligehausen R., Popov E.P., Bertero V.V. *Local Bond stress slip relationship of deformed bars under generalized excitations*. Berkeley, University of California, 1982.

24. Cosenza E., Manfredi G., Realfonzo R. Development length of FRP straight rebars. *Composites Part B: Engineering*. 2002; 33(7):493-504. DOI: 10.1016/S1359-8368(02)00051-3

Received April 12, 2022.

Adopted in revised form on December 14, 2022.

Approved for publication on December 25, 2022.

B I O N O T E S: **Victar V. Tur** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Concrete Technology and Construction Materials; **Brest State Technical University (BrSTU)**; 267 Moscow st., Brest, 224017, Republic of Belarus; profuturvic@gmail.com;

Aliaksandr P. Varabei — Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department of Architecture; **Brest State Technical University (BrSTU)**; 267 Moscow st., Brest, 224017, Republic of Belarus; phdavarabei@gmail.com.

Contribution of the authors: all authors contributed equally to the writing of the article.

Conflict of the interests: the authors declare no conflicts of interest.

25. Tur V., Drahan A. Analytical model for cracking behavior of RC-members element simulation. *Analytical models and new concepts in concrete and masonry structures : 6th International conference AMCM'2008*. Polska, Uniwersytet Łódzi, 2008.

26. Vorobei A.P., Tur V.V. Experimental studies of the shear resistance of self-stressed concrete beams reinforced with FRP under various loading conditions. *Bulletin of the Polotsk State University. Building. Applied Science. Series F*. 2021; 9:41-57. (rus.).

27. Reinhardt H.W. Fracture Mechanics of an Elastic Softening Material like Concrete. *Heron*. 1984; 29(2):42.

28. Tur V.V., Kondratchik A.A. *Calculation of reinforced concrete structures under the action of shear forces*. Brest, BSTU, 2000; 400. (rus.).

29. Collins M.P., Mitchell D. *A rational approach concrete structures*. N. J., Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, 1991; 766.

30. Walraven J.C., Reinhardt H.W. Theory and experiments on the mechanical behavior of cracks in plain and reinforced concrete subjected to shear loading. *Heron*. 1981; 26(1A):5-68.

31. Ruiz M.F., Plumey S., Muttoni A. Interaction between bond and deviation forces in spalling failures of arch-shaped members without transverse reinforcement. *ACI Structural Journal*. 2010; 107(03). DOI: 10.14359/51663700

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.131.52

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.59-69

Формирование главных напряжений от действия внешней нагрузки в песчаном грунте и золошлаковой смеси

Александр Александрович Лунёв

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ); г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Существующие исследования указывают на то, что изменение структуры материала влечет изменения в механизме формирования напряженного состояния. Очевидно, что при изменении вида грунта, влажности и плотности массива изменяются как его механические характеристики, так и напряженное состояние. Для изучения влияния генезиса на напряженное состояние проанализированы имеющиеся зависимости, предлагаемые для прогнозирования максимальных главных напряжений в массивах грунтов под действием внешней нагрузки от круглого штампа. Анализ продемонстрировал, что учет особенностей формирования напряженного состояния предложенных моделей связан с механическими характеристиками грунтов, однако существующие исследования показывают, что эти зависимости не универсальны.

Материалы и методы. В рамках проверки адекватности изученных решений проведены экспериментальные исследования по определению давлений, возникающих в песчаном грунте и золошлаковой смеси (ЗШС) под действием внешней нагрузки, а также выявлены физические и механические характеристики материалов в рассматриваемом состоянии (угол внутреннего трения, удельное сцепление, модуль деформации (упругости)).

Результаты. В результате экспериментов отмечено, что интенсивность затухания давлений по глубине увеличивается с ростом плотности массивов независимо от генезиса, причем для ЗШС затухание идет более интенсивно. Установлено, что описать формирование напряжений в грунтах различного генезиса возможно с помощью решений, построенных как на механике зернистой среды (решение Кандаурова), так и на механике сплошной среды (решение, предложенное Фрелихом).

Выводы. Результаты работы показывают необходимость использования различного подхода к прогнозированию напряженного состояния в песчаном грунте и ЗШС (грунтах различного генезиса). Наличие корреляций между механическими характеристиками грунта (углом трения и модулем упругости) и параметрами распределяющей среды свидетельствует о целесообразности проведения исследований на глинистых грунтах и прочих видах техногенных грунтов для изучения применимости полученных выводов к связным грунтам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительство, механика грунтов, пески, золошлаковые смеси, механические характеристики, напряженное состояние, главные напряжения

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ (грант для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук МК-4285.2022.4).

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Лунёв А.А. Формирование главных напряжений от действия внешней нагрузки в песчаном грунте и золошлаковой смеси // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 1. С. 59–69. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.59-69

Автор, ответственный за переписку: Александр Александрович Лунёв, lunev.al.al@gmail.com.

Prediction of principal stresses from external loads in sandy soils and ash-slag mixtures

Aleksandr A. Lunev

The Siberian State Automobile and Highway University (SibADI); Omsk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Earlier studies indicate that a change in the structure of any material triggers a change in its stress state development pattern. It is obvious that when the type of soil, humidity and density of the massif change, its mechanical characteristics and the stress state change respectively. Therefore, to study the influence of genesis on the stress state, the authors analyzed dependences, proposed for predicting maximum principal stresses arising in soil massifs subjected to external loading by a round plate. The analysis shows that taking into account the features of the stress state development in the proposed models is connected with mechanical characteristics of soils. However, previous studies show that these dependencies are not universal.

Materials and methods. To verify the adequacy of the solutions, experimental studies were conducted to determine pressures arising in sandy soils, ash-slag mixtures subjected to external loading. Physical and mechanical characteristics of the materials in the state under study were determined (such as the angle of internal friction, specific adhesion, modulus of deformation (elasticity)).

Results. The experiments show that the pressure attenuation intensity increases with depth along with the increasing density of massifs, regardless of the genesis, and attenuation is more intense in ash-slag mixtures. The authors have found that the development of stresses in soils of various genesis can be described by applying solutions based on the mechanics of the granular medium (Kandaurov's solution) and continuum mechanics (this solution was proposed by Frohlich).

Conclusions. The results of the work demonstrate the need to employ different approaches to predicting the stress state in soils of various genesis. Correlations between mechanical characteristics of soils (such as the friction angle and the modulus of elasticity) and parameters of the distributing medium indicate the need to study clay and other types of man-made soils.

KEYWORDS: construction, soil mechanics, sands, ash-slag mixtures, mechanical properties, stress state, principal stresses

Acknowledgements. This work was supported by the Council for Grants of the President of the Russian Federation (Grant MK-4285.2022.4 for the state support of young Russian researchers who are candidates of sciences).

FOR CITATION: Lunev A.A. Prediction of principal stresses from external loads in sandy soils and ash-slag mixtures. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(1):59-69. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.59-69 (rus.).

Corresponding author: Aleksandr A. Lunev, lunev.al.al@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Знание механизмов формирования напряженного состояния грунтов требуется для целого ряда инженерных задач. Учет напряженного состояния необходим при проектировании рабочих органов сельскохозяйственной и строительной техники [1, 2], в ходе оценки устойчивости склонов и земляного полотна [3], для выявления влияния техники на грунтовый массив [4], проверки сдвигоустойчивости дорожных одежд [5, 6] и т.д. При этом следует принимать во внимание напряжения, возникающие от собственного веса насыпи и от внешней нагрузки.

Многие методы, применяемые для прогнозирования напряженного состояния, учитывают только форму нагрузки и положение точки, в которой определяются напряжения (Буссинеск, Фламан, Митчелл, Das и др.). Однако исследования по нагружению тел из фотоупругих элементов, проведенные J.C. Santamarina [7] и R.P. Behringer [8], A.H. Clark [9], T. Takahashi [10], показывают, что распределение напряжений полностью зависит от формы частиц, степени упорядоченности элементов (аналог плотности) и характера приложения нагрузок.

В работах [7–10] продемонстрировано, что распределение напряжений в грунтовых средах и других сыпучих материалах зависит от их структуры, а учитывая, что грунты имеют разную форму частиц [11, 12], и, следовательно, создают структуру, различную для разных грунтов, можно выдвинуть гипотезу о наличии особенностей в формировании напряженного состояния каждого из видов грунтов. Причем, согласно исследованиям [13, 14], решающее влияние на механизм формирования напряженного состояния оказывает степень уплотнения.

В эксперименте по загруженному массиву из суглинка установлено, что влажность также оказывала воздействие на распределение напряжений [15], эти сведения приведены также в исследовании, в котором, помимо влажности, отмечен эффект прочности (деформативности) покрытия на уровень напряжений. Сходным образом с работой [16] в публикации [17] выдвинуты тезисы о влиянии механических характеристик грунтов на рас-

пределение напряжений в зависимости от значений угла внутреннего трения, сцепления, коэффициента бокового давления и прочего.

Поэтому очевидно требуется замена традиционно используемых в практике проектирования зависимостей, не учитывающих происхождение грунтов, их состояние и особенности приложения нагрузки. Цель данного исследования — подбор наиболее удобной и корректной зависимости для прогнозирования напряженного состояния в сформированном массиве из грунтов, учитывая особенности изменения их свойств во времени и генезис.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Теоретическая основа

Для достижения поставленной цели автором собраны зависимости для прогнозирования напряженного состояния (максимальных главных напряжений в грунтах), потенциально пригодные для описания формирования напряженного состояния в грунтах с разным генезисом, формой частиц и крупностью (табл. 1).

Прогнозирование напряженного состояния, возникающего в грунтах под действием внешних нагрузок, обычно основывается на решениях механики сплошной или зернистой среды, а также инженерных аппроксимациях. Во всех случаях для прогнозирования напряжений в механике грунтов учитывают особенности строения материала с учетом конкретных параметров материала: коэффициента распределительной способности среды [14]; параметра Фрелиха [19, 21, 22]; угла внутреннего трения [22]; модулей упругости; коэффициента бокового давления, используемого в решении Кандаурова [23, 24] и др.

Для определения коэффициента бокового давления имеются зависимости через угол внутреннего трения φ и коэффициент Пуассона. Зависимости для установления коэффициента бокового давления через угол внутреннего трения представлены в табл. 2, через коэффициент Пуассона — в табл. 1 (формула (10)). Кроме того, известны и собственные решения по определению коэффициента распределительной среды, одно из которых (решение Баданина и соавторов) также приведено в табл. 2 [25–29].

Табл. 1. Формулы для прогнозирования максимальных главных напряжений в кПа
Table 1. Formulas for predicting maximum principal stresses in kPa

Авторы Authors	Зависимость Equation	Авторы Authors	Зависимость Equation
L.V. Boussinesq [14, 18]	$\sigma_z = p \cdot \left[1 - \left(1 + \left(R/z \right)^2 \right)^{-1,5} \right]$ (1)	G.L. Klein [18]	$\sigma_z = p \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot z}{D_o} \cdot \operatorname{tg} f(\varphi) \right)^{-2}$ (2)
M. Harr [18]	$\sigma_z = p \cdot \left[1 - \exp \left(\frac{-4R^2 v_p}{z^2} \right) \right]$ (3)	И.И. Кандауров [14] I.I. Kandaurov [14]	$\sigma_z = p \cdot \left[1 - \exp \left(\frac{-R^2}{2z^2 \lambda} \right) \right]$ (4)
В.Г. Пискунов, Н.Н. Иванов V.G. Piskunov, N.N. Ivanov	$\sigma_z = B \cdot \exp(-\gamma z)$ (5)	О.К. Фрелих [5, 19] O.K. Frohlich [5, 19]	$\sigma_z = p \cdot \left[1 - 1 / \left(\sqrt{1 + \left(R/z \right)^2} \right)^n \right]$ (7)
С.А. Матвеев, Н.Н. Литвинов, Р.Е. Петров [14] S.A. Matveev, N.N. Litvinov, R.E. Petrov [14]	$\sigma_z = 2p \cdot \left[\exp \left(\lambda \{ 1 - \gamma' z \} \right) \right]^{(1-\lambda)}$ (6)		
М.И. Якунин [20] M.I. Yakunin [20]	$\sigma_z = p \cdot \left[1 + a \cdot \left(z/D \cdot \sqrt[3]{E_l/E_b} \right)^2 \right]^{-1}$ (8)	А.С. Александров [20] A.S. Aleksandrov [20]	$\sigma_z = p \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot z}{D_o} \cdot \operatorname{tg} (\beta_\phi \cdot \varphi) \right)^{-2}$ (9)

Формулы для определения коэффициентов бокового давления в решении Кандаурова и коэффициента, характеризующего распределение напряжений в среде по решению М. Харр [18]:
Formulas for determining coefficients of lateral pressure in Kandaurov's solution and the coefficient characterizing the distribution of stresses in M. Harr's solution [18]:

$$\lambda = \frac{\mu}{1 - \mu}; \tag{10}$$

$$v_p = \frac{1}{8\lambda} \tag{11}$$

Формулы С.Р. Gonzalez [19, 21] для определения параметра Фрелиха, характеризующего распределительную способность среды:
C.R. Gonzalez's formulas [19, 21] for determining the Frohlich parameter characterizing the distribution capacity of the medium:

$$n = 2 \cdot \left(\frac{\text{CBR}}{6} \right)^{0,337}; \tag{12}$$

$$n = 2 \cdot \left(\frac{\text{CBR}}{6} \right)^{0,1912} \tag{13}$$

Примечание: p — среднее давление по поверхности круглого нагруженного штампа, МПа; R — радиус штампа, м; z — глубина точки, в которой определяются напряжения относительно середины штампа, м; v_p — коэффициент распределительной способности среды для решения Харр; γ — коэффициент затухания напряжений; λ — коэффициент бокового давления; a — коэффициент концентрации напряжений, принимаемый 1,0 для нежестких дорожных одежд и 2,5 для упругих изотропных тел; c — показатель степени радикала, принимаемый 2,5 или 3,0; E_l и E_b — модули упругости материала слоя и основания, МПа; μ — коэффициент Пуассона; D_o — диаметр штампа, м; n — параметр Фрелиха; $f(\varphi)$ — неизвестная функция угла внутреннего трения, °; β_ϕ — параметр, определяющий долю угла рассеивания от угла внутреннего трения; CBR — калифорнийское число несущей способности, %.

Note: p is the average pressure over the surface of a loaded round plate, MPa; R is the plate radius, m; z is the depth of the point at which stresses are determined relative to the middle of the plate, m; v_p is the distribution capacity coefficient of the medium for the Harr's solution; γ is the stress attenuation factor; λ is the lateral pressure coefficient; a is the stress concentration factor that equals 1.0 for non-rigid pavements and 2.5 for elastic isotropic bodies; c is the degree of the radical that equals 2.5 or 3.0; E_l and E_b are the moduli of elasticity of the layer and base materials, MPa; μ is the Poisson's ratio; D_o is the plate diameter, m; n is the Frohlich parameter; $f(\varphi)$ is the unknown function of the angle of internal friction, °; β_ϕ is the parameter that determines the fraction of the scattering angle from the angle of internal friction; CBR is the California bearing ratio, %.

Представленные формулы позволяют определить коэффициент распределительной способности среды исходя из параметров материала, но в источниках нет данных о применимости того или иного решения для всего разнообразия техногенных грунтов, например для золошлаковых смесей (ЗШС).

Определение давлений по глубине массива

Для экспериментального исследования по определению давлений, возникающих в песчаном грунте под действием внешней нагрузки, были использованы месдозы ТДДГ-0,5, установленные внутри массива песчаного грунта на глубине 5, 15, 25, 40 см от поверхности. Нагружение осуществлялось посредством круглого штампа диаметром 25 см с помощью гидравлического цилиндра. Контроль силового воздействия проводили с применением электронного динамометра ДЭП/3-1Д-50С-2. В рамках серии экспериментов планировалось устраивать массив сухого песка, который дважды последовательно бы увлажнялся водопроводной водой для повышения влажности. Схема расстановки оборудования и фотографии проведения экспериментов приведены на рис. 1.

Следует отметить, что при увлажнении массива отмечалось его доуплотнение за счет фильтрации воды с мелкими частицами, что не позволило подготовить массив равной плотности с изменяемой влажностью.

Для экспериментального исследования по определению давлений, возникающих в ЗШС, лабораторный лоток заполняли увлажненной до оптимальной влажности ЗШС и последовательно уплотняли до требуемого коэффициента уплотнения, который изменялся в ходе эксперимента при каждом переустройстве и принимал значения 0,85, 0,95 и 1,00. После подготовки каждого слоя ЗШС на него устанавливали лазерный уровень, который наводился по меткам на проектное положение датчика. Высотное положение датчика контролировалось с помощью нивелира. С целью установления напряжений (измерения давлений) использовали аналог датчиков давления (месдозы), сконструированный на базе датчиков Piezус APZ 2422.

По глубине было уложено три датчика давления. Давление создавали с помощью гидравлического пресс-штампа ПШ-050С диаметром 33 см. Измерение усилий, создаваемых пресс-штампом, осуществляли электронным динамометром ДЭП/3-1Д-50С-2. Плотность и влажность массива в обоих циклах экспериментов контролировались методом режущего кольца согласно ГОСТ 5180-2015. Схема расстановки оборудования и фотографии проведения экспериментов приведены на рис. 1.

Определение механических характеристик грунтов

Отбор проб песка для исследований выполнен в Омском речном порту в месте погрузки со-

Табл. 2. Формулы для определения коэффициентов распределительной способности среды, связанные с углом внутреннего трения

Table 2. Formulas for determining the coefficients of the distribution capacity of the medium associated with the angle of internal friction

Авторы Authors	Формулы для определения коэффициента бокового давления (распределительной способности среды Кандаурова) Formulas used to determine the coefficient of lateral pressure		
Ж. Биарез и соавт. J. Biarez et al.	$\lambda = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$ (14)	Р.Я. Попильский и соавт. R.Ya. Popil'skij et al.	$\lambda = \operatorname{tg}^2 \left[\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right]$ (17)
M.D. Bolton	$\lambda = \frac{1 - \sin(\varphi - 11,5)}{1 + \sin(\varphi - 11,5)}$ (15)	Mayne-Kulhawy	$\lambda = 1 - 0,998 \sin \varphi$ (18)
Brooker-Ireland	$\lambda = 0,95 - \sin \varphi$ (16)	Г.И. Покровский G.I. Pokrovskij	$\lambda = 1 - 0,74 \operatorname{tg} \varphi$ (19)
Формула для определения коэффициента распределительной способности среды Harr The formula used to determine the coefficient of the distribution capacity of the medium			
А.Н. Баданин и соавт. A.N. Badanin et al.		$v_p = \operatorname{ctg}(\varphi + 45^\circ)$ (20)	

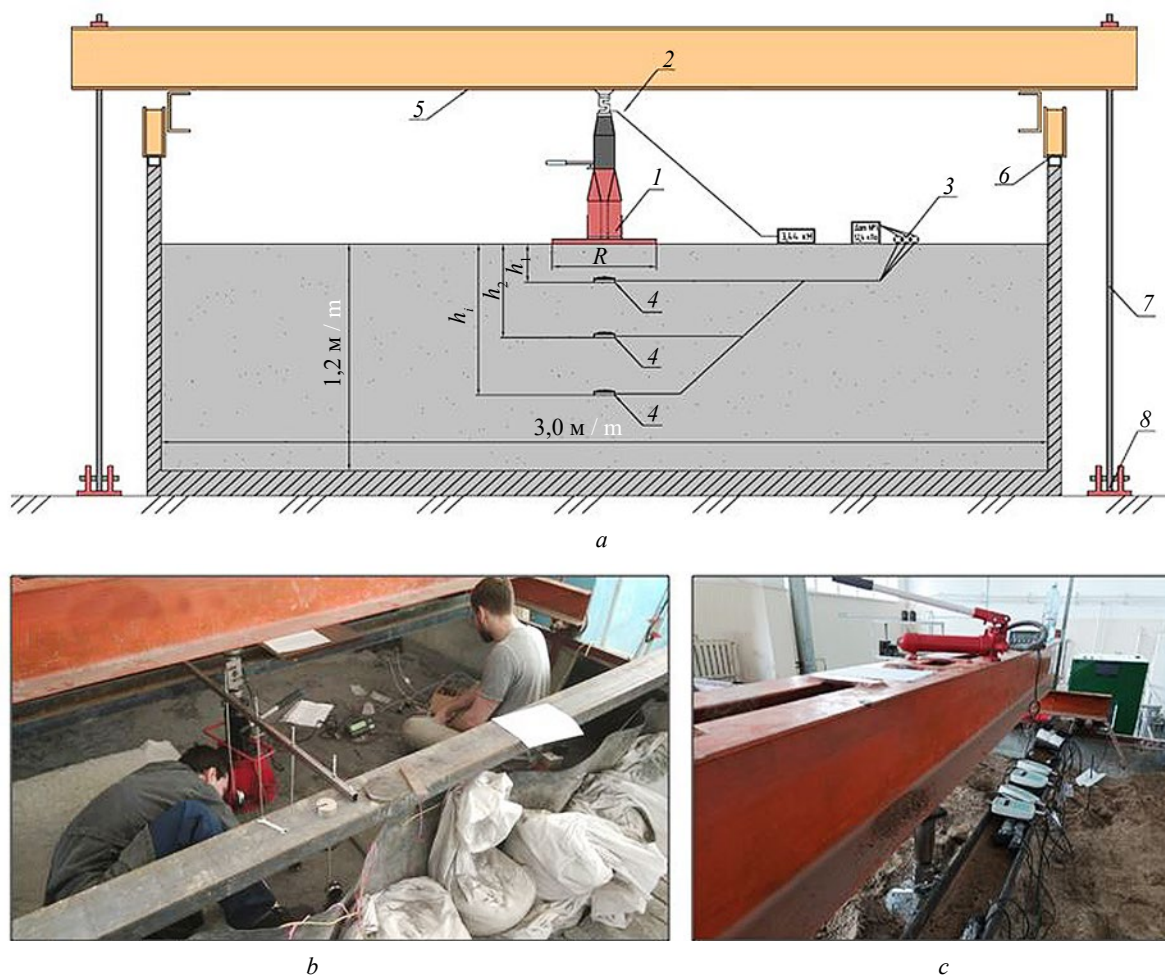


Рис. 1. Принципиальная схема установки и фотографии проведения экспериментальных исследований: *a* — схема установки: 1 — штамп с устройством нагружения; 2 — тензодатчик; 3 — контроллеры для мессдоз; 4 — мессдозы; 5 — упорная балка; 6 — рельсы; 7 — анкерная тяга; 8 — анкерное крепление; *b* — проведение экспериментов на ЗШС; *c* — исследования на песчаном грунте

Fig. 1. Schematic diagram and photographs of experimental studies: *a* — schematic diagram: 1 — plate with loading device; 2 — tensiometer; 3 — controllers for soil pressure sensors; 4 — soil pressure sensors; 5 — thrust beam; 6 — rails; 7 — anchor rod; 8 — anchor fastener; *b* — experiments conducted using ash-slag mixture; *c* — sandy soil studies

ставов, расположенном в г. Омск. Отбор пробы ЗШС велся на территории золоотвала СП «ТЭЦ-4» АО «ТГК-11». Сушка грунтов производилась при температуре 105 °С в сушильном шкафу с циркуляцией воздуха. Хранение проб осуществлялось в герметичных контейнерах из полипропилена при комнатной температуре и влажности не выше 80 %.

Для изучения степени изменения свойств исследуемых грунтов были проведены геотехнические эксперименты по определению: удельного сцепления и угла внутреннего трения по ГОСТ 12248.1-2020, модуля деформации по ГОСТ 12248.4-2020, зернового состава по ГОСТ 12536-2014, максимальной плотности сухого грунта и оптимальной влажности при стандартном уплотнении по ГОСТ 22733-2016.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ решений, приведенных в табл. 1, показал, что все предложенные зависимости (кроме

решений Буссинеска) в той или иной степени учитывают различия в механизме формирования напряженного состояния в различных грунтах. Решение Буссинеска (1) очевидно не удовлетворяет настоящему механизму формирования напряженного состояния, как и решение Клейна, которое является упрощенной аппроксимацией наряду с решениями Пискунова и Матвеева, и непригодно для прогнозирования минимальных главных напряжений. Решение, предложенное Якуниным (8) при рассмотрении изотропного массива без подстилающего слоя в зоне распределения напряжений, упрощается и также не может быть использовано для расчетов.

Решение Клейна (2) связано с базовой механической характеристикой (углом внутреннего трения) неизвестной функцией, что может свидетельствовать об изменении механизма распределения напряжений под действием внешней нагрузки от влажности и плотности грунта, а не только их вида,

что однако не нашло подтверждения в работе [13]. Решение (9), предложенное А.С. Александровым в работе [20], является модификацией предложенного Клейном (2) и также не описывает экспериментальное распределение давлений при статичном значении параметра β_ϕ , определяющего долю угла рассеивания от угла внутреннего трения.

Решение Пискунова и др. (5), а также их модификация Матвеевым и проч. (6) — инженерная аппроксимация, которая также теоретически пригодна для прогнозирования напряженного состояния в грунтовых средах, однако эти решения требуют определения специфических параметров γ и γ_1 с использованием месдоз и опытных установок и не могут быть применены для прогнозирования напряженного состояния без связи с параметрами грунтов, определяемыми при инженерных изысканиях. Кроме того, затухание напряжений в этих решениях является сильно интенсивным и не учитывает особенностей формирования напряжений под штампом.

Решение Фрелиха, приведенное в выражении (7), — более поздняя модификация решения Буссинеска и имеет параметр, зависящий от распре-

деляющей способности среды, что делает его одним из самых потенциально пригодных решений. Существуют и зависимости, предложенные Gonzalez, позволяющие оценить значения параметра Фрелиха через калифорнийское число несущей способности. Учитывая тот факт, что CBR является аналогом модуля деформации (упругости) и форма этих связей описана в работах [30, 31], возможно рассмотреть способы связи параметра Фрелиха и модуля упругости (модуль деформации по второй ступени нагружения).

В противовес механике сплошных сред в механике зернистой среды изначально учитывалась разница во взаимодействии частиц посредством коэффициента распределительной среды (Кандауров). Априори мы считаем, что закономерности механики зернистых сред могут быть применимы к ЗШС и пескам, поскольку форма и особенности контактной передачи давлений между частицами в ЗШС и в песках сходны, неприменимость их к глинистым грунтам может быть сомнительна. Учитывая тот факт, что решение Кандаурова и Нарт напрямую связаны между собой, их следует воспринимать как единое решение в дальнейшем.

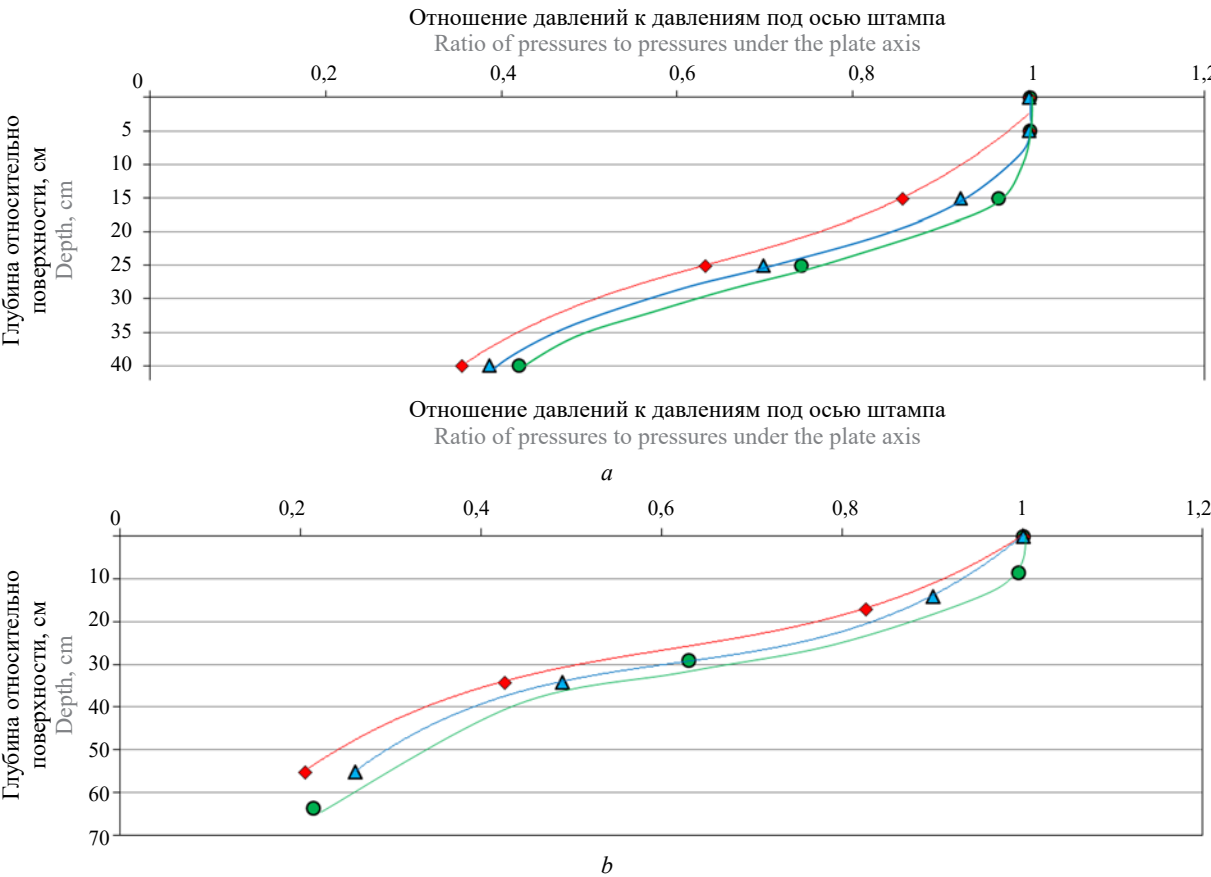


Рис. 2. Распределение давлений в массиве грунтов под действием внешней нагрузки от круглого штампа: а — песчаный грунт: ● — песок при $K_y = 0,90$; ▲ — песок при $K_y = 0,94$; ◆ — песок при $K_y = 0,99$; б — золошлаковая смесь: ● — ЗШС при $K_y = 0,85$; ▲ — ЗШС при $K_y = 0,95$; ◆ — ЗШС при $K_y = 1,00$

Fig. 2. Distribution of pressures in the soil massif subjected to external loading from a round plate: а — sandy soil: ● — sand at $D_c = 0.90$; ▲ — sand at $D_c = 0.94$; ◆ — sand at $D_c = 0.99$; б — ash-slag mixture: ● — ash-slag mixture at $D_c = 0.85$; ▲ — ash-slag mixture at $D_c = 0.95$; ◆ — ash-slag mixture at $D_c = 1.00$

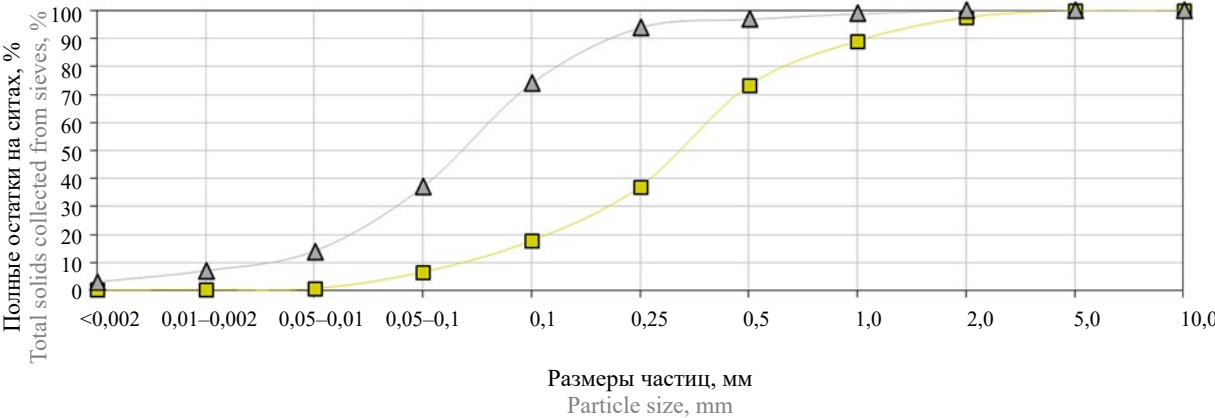


Рис. 3. Кумулятивная кривая зернового состава изучаемого грунта: ▲ — золошлаковая смесь; ■ — песок
Fig. 3. Cumulative curve of the grain composition of the studied soil: ▲ — ash-slag mixture; ■ — sand

По этим причинам для оценки результатов прогнозирования стоит рассматривать только решения Фрелиха и Кандаурова, как дающие связь формирования напряженного состояния с механическими характеристиками и позволяющие прогнозировать минимальные главные напряжения.

Определение давлений по глубине массива песчаного грунта показывает существенное изменение напряженного состояния под действием внешней нагрузки при различной влажности массива. Увеличение влажности и плотности насыпного массива ведет к значительному повышению скорости снижения давлений по оси штампа (рис. 2, а).

Аналогичным образом при увеличении степени уплотнения ЗШС отмечается более высокая интенсивность затухания давлений по глубине, что, вероятно, связано с повышением количества точек контактов в дисперсных грунтах, которые использовались в работе (рис. 2, б). Для удобства сопоставления результаты исследований приведены на рис. 2 в виде относительных значений.

Параметры массива (плотность и влажность, определенные экспериментально) и обработанные результаты экспериментов (вычисления коэффициента распределительной способности среды по решению Кандаурова и параметра Фрелиха) сведены в табл. 3.

Табл. 3. Результаты вычисления коэффициентов распределительной способности среды по решению Кандаурова и параметра Фрелиха, а также механические характеристики исследуемых грунтов в условиях проведенных экспериментов
Table 3. Calculated coefficients of the distribution capacity of the medium according to the Kandaurov solution and the Frohlich parameter, as well as mechanical characteristics of studied soils under the conditions of the experiments

Номер Number	Характеристики массива (коэффициент уплотнения K_y и влажность w) Characteristics of the massif (compaction coefficient D_c and soil moisture w)	Параметры распределения давлений в массиве Parameters of pressure distribution in the massif		Характеристики материала слоя в состоянии массива Characteristics of the massif layer material		
		n	ν	φ , град degree	c , кПа кПа	E , МПа MPa
<i>Мелкозернистая золошлаковая смесь</i> <i>Fine-grained ash-slag mixture</i>						
1	$K_y = 0,85 / D_c = 0.85; w = 27,1 \%$	7,2	0,158	23,0	10	16,8
2	$K_y = 0,95 / D_c = 0.95; w = 27,1 \%$	6,1	0,193	33,9	37	20,1
3	$K_y = 1,00 / D_c = 1.00; w = 27,1 \%$	5,5	0,225	37,5	40	24,4
R^2		0,98	0,97	—	—	—
<i>Песок средней крупности</i> <i>Medium-grained sand</i>						
4	$K_y = 0,90 / D_c = 0.90; w = 0,3 \%$	12,0	0,093	33,0	0	18,0
5	$K_y = 0,94 / D_c = 0.94; w = 2,5 \%$	10,7	0,105	41,4	9	22,7
6	$K_y = 0,99 / D_c = 0.99; w = 3,2 \%$	8,5	0,121	44,0	11	28,6
R^2		0,99	0,99	—	—	—

Для исследований использовался песок средней крупности (модуль крупности 2,43) и мелкозернистая золошлаковая смесь с зерновыми составами, приведенными на рис. 3. Оптимальная влажность, полученная в ходе испытаний, составила 7,5 % для песка и 27 % для ЗШС, а максимальная плотность сухого песка 1,87 г/см³ при плотности частиц грунта 2,61 г/см³, в то время как для ЗШС эта величина составляла 1,31 г/см³ при плотности частиц грунта 2,28 г/см³.

Механические характеристики грунтов, исследованные в лаборатории (удельное сцепление, угол внутреннего трения и модуль деформации, определенный по второй ветви нагружения при уровне давлений 100–200 кПа), приведены в табл. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В обеих исследованных разновидностях грунтов отмечено, что интенсивность затухания давлений по глубине увеличивается с увеличением плотности массивов. По всей видимости, повышение плотности повышает количество точек контакта и вызывает интенсивное рассеивание напряжений в плотном массиве из зернистого материала (ЗШС и песок). В то же время затухание давлений в золошлаковой смеси идет более интенсивно, что может, с одной стороны, быть следствием большего числа точек контакта (ЗШС, мелкодисперсный грунт), так и следствием формы частиц, обладающих механическими зацеплениями.

Решения Кандаурова и Фрелиха пригодны для описания экспериментальных данных и могут быть использованы для прогнозирования напряженного

состояния в исследованных грунтах. Однако ни одна формула из приведенных в табл. 2 непригодна для прогнозирования коэффициента бокового давления в исследованных грунтах. Оценивая формулы, предложенные Gonzales, можно увидеть, что рост СБР (который напрямую связан с модулем упругости [30, 31]) должен приводить к росту параметра Фрелиха, что в экспериментах не отмечено, и говорит об их качественной неприменимости.

Анализ результатов экспериментов, приведенных в табл. 3, указывает на то, что механизм распределения напряжений в решении, предложенном Фрелихом, ассоциирован с модулем упругости, который имеет сильную корреляцию с параметром Фрелиха. Параметр распределительной способности среды в решении Кандаурова (коэффициент бокового давления) имеет сильную корреляцию с углом внутреннего трения. Однако для двух различных грунтов, исследованных в данной работе, зависимости между этими параметрами распределительной способности среды и механическими характеристиками были различны, что говорит о необходимости учета других факторов. Наиболее вероятно, что различия в характере форм связи связаны с зерновым составом, но форма этой связи требует дополнительных исследований.

Учитывая полученные значения параметров Фрелиха для песчаного грунта, можно говорить о необходимости дополнительных исследований и повышенном внимании к результатам исследований при использовании жестких месдоз (например ТДДГ-0,5, которые вероятно вызывают повышенную концентрацию напряжений).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kešner A., Chotěborský R., Linda M., Hromasová M., Katinas E., Sutanto H. Stress distribution on a soil tillage machine frame segment with a chisel shank simulated using discrete element and finite element methods and validate by experiment // *Biosystems Engineering*. 2021. Vol. 209. Pp. 125–138. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2021.06.012
2. Lamandé M., Schjønning P. Transmission of vertical stress in a real soil profile. Part II: Effect of tyre size, inflation pressure and wheel load // *Soil and Tillage Research*. 2011. Vol. 114. Issue 2. Pp. 71–77. DOI: 10.1016/j.still.2010.08.011
3. Sinha A.K., Havanagi V.G., Mathur S., Guruvital U.K. Investigation and design of a fly ash road embankment in India by CPT // *2nd International Symposium on Cone Penetration Testing*. 2009.
4. Augustin K., Kuhwald M., Brunotte J., Duttmann R. FiTraM: A model for automated spatial analyses of wheel load, soil stress and wheel pass frequency at field scale // *Biosystems Engineering*. 2019. Vol. 180. Pp. 108–120. DOI: 10.1016/j.biosystem-seng.2019.01.019
5. Aleksandrov A.S., Dolgikh G.V., Kalinin A.L. Improvement of shear strength design of a road structure. Part 2. Modified model to calculate the principal and shear stresses // *Magazine of Civil Engineering*. 2016. Vol. 62. Issue 2. Pp. 51–68. DOI: 10.5862/MCE.62.6
6. Александров А.С. Анализ методов расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу в грунте // *Вестник СибАДИ*. 2021. Т. 18. № 5 (81). С. 576–613. DOI: 10.26518/2071-7296-2021-18-5-576-613
7. Santamarina J.C. Soil behavior at the micro-scale: Particle Forces // *Soil Behavior and Soft Ground Construction*. 2003. DOI: 10.1061/40659(2003)2
8. Behringer R.P. Jamming in granular materials // *Comptes Rendus Physique*. 2015. Vol. 16. Issue 1. Pp. 10–25. DOI: 10.1016/j.crhy.2015.02.001
9. Clark A.H., Petersen A.J., Kondic L., Behringer R.P. Nonlinear force propagation during granular impact // *Physical Review Letters*. 2015. Vol. 114. Issue 14. DOI: 10.1103/PhysRevLett.114.144502
10. Takahashi T., Clark A.H., Majmudar T., Kondic L. Granular response to impact: Topology of the force

networks // *Physical Review E*. 2018. Vol. 97. Issue 1. DOI: 10.1103/PhysRevE.97.012906

11. Pal S., Ghosh A. Shear strength behaviour of Indian fly ashes // *Indian Geotechnical Conference Geotechnics in Infrastructure Development (GEOTIDE)*. 2009. Pp. 763–778.

12. Kim B., Prezzi M., Salgado R. Geotechnical properties of fly and bottom ash mixtures for use in highway embankments // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2005. Vol. 131. Issue 7. Pp. 914–924. DOI: 10.1061/(asce)1090-02-41(2005)131:7(914)

13. Lunev A.A., Sirotiyuk V.V. Stress distribution in ash and slag mixtures // *Magazine of Civil Engineering*. 2019. № 2 (86). Pp. 72–82. DOI: 10.18720/MCE.86.7

14. Матвеев С.А., Литвинов Н.Н., Петров Р. Закономерности распределения напряжений в грунтовых основаниях внутрихозяйственных автомобильных дорог // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2017. № 4 (28). С. 233–239.

15. Gheshlaghi F., Mardani A. Prediction of soil vertical stress under off-road tire using smoothed-particle hydrodynamics // *Journal of Terramechanics*. 2021. Vol. 95. Pp. 7–14. DOI: 10.1016/j.jterra.2021.02.004

16. Nguyen V.N., Matsuo T., Inaba S., Koumoto T. Experimental analysis of vertical soil reaction and soil stress distribution under off-road tires // *Journal of Terramechanics*. 2008. Vol. 45. Issue 1–2. Pp. 25–44. DOI: 10.1016/j.jterra.2008.03.005

17. Kondratieva L.N., Popov V.M., Medvedsky P.Y. Methods of calculation of soil stress-strain distribution in sheet pile corset // *Procedia Structural Integrity*. 2017. Vol. 6. Pp. 101–108. DOI: 10.1016/j.prostr.2017.11.016

18. Александров А.С. Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу. Ч. 1. Состояние вопроса : монография. Омск : СибАДИ, 2015. 292 с.

19. Bianchini A. Fröhlich Theory-based approach for analysis of stress distribution in a layered system // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2014. Vol. 2462. Issue 1. Pp. 61–67. DOI: 10.3141/2462-08

20. Александров А.С., Александрова Н.П., Долгих Г.В. Модифицированные модели для расчета главных напряжений в дорожных конструкциях из дискретных материалов // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 14–17.

21. Gonzalez C.R., Barker W.R. Implementation of a new flexible pavement design procedure for

U.S. Military airports // *Fourth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering*. 2006. Pp. 1–10.

22. Aleksandrov A.S., Kalinin A.L., Tsyguleva M.V. Distribution capacity of sandy soils reinforced with geosynthetics // *Magazine of Civil Engineering*. 2016. Vol. 66. Issue 6. Pp. 35–48. DOI: 10.5862/MCE.66.4

23. Beakawi Al-Hashemi H.M., Baghabra Al-Amoudi O.S. A review on the angle of repose of granular materials // *Powder Technology*. 2018. Vol. 330. Pp. 397–417. DOI: 10.1016/j.powtec.2018.02.003

24. Moshenzhal A.V. Account of irregularity in the stress distribution along wood and concrete sleepers from a perspective of granular media mechanics // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 189. Pp. 637–642. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.101

25. Lee J., Yun T.S., Lee D., Lee J. Assessment of K0 correlation to strength for granular materials // *Soils and Foundations*. 2013. Vol. 53. Issue 4. Pp. 584–595. DOI: 10.1016/j.sandf.2013.06.009

26. Federico A., Elia G., Murianni A. The at-rest earth pressure coefficient prediction using simple elasto-plastic constitutive models // *Computers and Geotechnics*. 2009. Vol. 36. Issue 1–2. Pp. 187–198. DOI: 10.1016/j.compgeo.2008.01.006

27. Brooker E.W., Ireland H.O. Earth pressures at rest related to stress history // *Canadian Geotechnical Journal*. 1965. Vol. 2. Issue 1. Pp. 1–15. DOI: 10.1139/t65-001

28. Mayne P.W., Kulhawy F.H. K-OCR relationships in soil // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*. 1983. Vol. 20. Issue 1. P. A2. DOI: 10.1016/0148-9062(83)91623-6

29. Badanin A.N., Bugrov A.K., Krotov A.V. The determination of the first critical load on particulate medium of sandy loam foundation // *Magazine of Civil Engineering*. 2012. Vol. 35. Issue 9. Pp. 29–34. DOI: 10.5862/MCE.35.4

30. Семенова Т.В., Долгих Г.В., Полугородник Б.Н. Применение калифорнийского числа несущей способности и динамического конусного пенетromетра для оценки качества уплотнения грунта // *Вестник СибАДИ*. 2013. № 1 (35). С. 59–66.

31. Putri E.E., Kameswara Rao V.N.S., Manan M.A. Evaluation of modulus of elasticity and modulus of subgrade reaction of soils using CBR Test // *Journal of Civil Engineering Research*. 2012. Vol. 2. Issue 1. Pp. 34–40. DOI: 10.5923/j.jce.20120201.05

Поступила в редакцию 6 сентября 2022 г.

Принята в доработанном виде 29 ноября 2022 г.

Одобрена для публикации 21 декабря 2022 г.

ОБ АВТОРЕ: Александр Александрович Лунёв — кандидат технических наук, директор центра компетенций в сфере использования вторичных материальных ресурсов в строительной отрасли; **Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)**; 644080, г. Омск, пр-т Мира, д. 5; SPIN-код: 2836-4151, Scopus: 57198893763, ResearcherID: AAZ-4755-2021, ORCID: 0000-0001-5857-1891; lunev.al.a@gmail.com.

REFERENCES

1. Kešner A., Chotěborský R., Linda M., Hromasová M., Katinas E., Sutanto H. Stress distribution on a soil tillage machine frame segment with a chisel shank simulated using discrete element and finite element methods and validate by experiment. *Biosystems Engineering*. 2021; 209:125-138. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2021.06.012
2. Lamandé M., Schjønning P. Transmission of vertical stress in a real soil profile. Part II: Effect of tyre size, inflation pressure and wheel load. *Soil and Tillage Research*. 2011; 114(2):71-77. DOI: 10.1016/j.still.2010.08.011
3. Sinha A.K., Havanagi V.G., Mathur S., Guruvital U.K. Investigation and design of a fly ash road embankment in India by CPT. *2nd International Symposium on Cone Penetration Testing*. 2009.
4. Augustin K., Kuhwald M., Brunotte J., Duttmann R. FiTraM: A model for automated spatial analyses of wheel load, soil stress and wheel pass frequency at field scale. *Biosystems Engineering*. 2019; 180:108-120. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2019.01.019
5. Aleksandrov A.S., Dolgikh G.V., Kalinin A.L. Improvement of shear strength design of a road structure. Part 2. Modified model to calculate the principal and shear stresses. *Magazine of Civil Engineering*. 2016; 62(2):51-68. DOI: 10.5862/MCE.62.6
6. Aleksandrov A.S. Analysis of methods of calculating road structures based by shear resistance in the soil. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18(5):(81):576-613. DOI: 10.26518/2071-7296-2021-18-5-576-613 (rus.).
7. Santamarina J.C. Soil behavior at the microscale: Particle forces. *Soil Behavior and Soft Ground Construction*. 2003. DOI: 10.1061/40659(2003)2
8. Behringer R.P. Jamming in granular materials. *Comptes Rendus Physique*. 2015; 16(1):10-25. DOI: 10.1016/j.crhy.2015.02.001
9. Clark A.H., Petersen A.J., Kondic L., Behringer R.P. Nonlinear force propagation during granular impact. *Physical Review Letters*. 2015; 114(14). DOI: 10.1103/PhysRevLett.114.144502
10. Takahashi T., Clark A.H., Majmudar T., Kondic L. Granular response to impact: Topology of the force networks. *Physical Review E*. 2018; 97(1). DOI: 10.1103/PhysRevE.97.012906
11. Pal S., Ghosh A. Shear strength behaviour of Indian fly ashes. *Indian Geotechnical Conference Geotechnics in Infrastructure Development (GEOTIDE)*. 2009; 763-778.
12. Kim B., Prezzi M., Salgado R. Geotechnical properties of fly and bottom ash mixtures for use in highway embankments. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2005; 131(7):914-924. DOI: 10.1061/(asce)1090-0241(2005)131:7(914)
13. Lunev A.A., Sirotyuk V.V. Stress distribution in ash and slag mixtures. *Magazine of Civil Engineering*. 2019; 2(86):72-82. DOI: 10.18720/MCE.86.7
14. Matveev S.A., Litvinov N.N., Petrov R.E. Regularities of tension distribution in the intraeconomic highways soil base. *Bulletin of the Omsk State Agrarian University*. 2017; 4(28):233-239. (rus.).
15. Gheshlaghi F., Mardani A. Prediction of soil vertical stress under off-road tire using smoothed-particle hydrodynamics. *Journal of Terramechanics*. 2021; 95: 7-14. DOI: 10.1016/j.jterra.2021.02.004
16. Nguyen V.N., Matsuo T., Inaba S., Koumoto T. Experimental analysis of vertical soil reaction and soil stress distribution under off-road tires. *Journal of Terramechanics*. 2008; 45(1-2):25-44. DOI: 10.1016/j.jterra.2008.03.005
17. Kondratieva L.N., Popov V.M., Medvedsky P.Y. Methods of calculation of soil stress-strain distribution in sheet pile corset. *Procedia Structural Integrity*. 2017; 6:101-108. DOI: 10.1016/j.prostr.2017.11.016
18. Aleksandrov A.S. *Improving the calculation of road structures for shear resistance. P. 1. State of issue : monograph*. Omsk, SibADI, 2015; 292. (rus.).
19. Bianchini A. Fröhlich Theory-based approach for analysis of stress distribution in a layered system. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2014; 2462(1):61-67. DOI: 10.3141/2462-08
20. Aleksandrov A.S., Aleksandrova N.P., Dolgikh G.V. Modified models for calculation of principal stresses in road structures made of discrete materials. *Construction Materials*. 2012; 10:14-17. (rus.).
21. Gonzalez C.R., Barker W.R. Implementation of a new flexible pavement design procedure for U.S. Military Airports. *Fourth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering*. 2006; 1-10.
22. Aleksandrov A.S., Kalinin A.L., Tsyguleva M.V. Distribution capacity of sandy soils reinforced with geosynthetics. *Magazine of Civil Engineering*. 2016; 66(6):35-48. DOI: 10.5862/MCE.66.4
23. Beakawi Al-Hashemi H.M., Baghabra Al-Amoudi O.S. A review on the angle of repose of granular materials. *Powder Technology*. 2018; 330:397-417. DOI: 10.1016/j.powtec.2018.02.003
24. Moshenzhal A.V. Account of irregularity in the stress distribution along wood and concrete sleepers from a perspective of granular media mechanics. *Procedia Engineering*. 2017; 189:637-642. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.101
25. Lee J., Yun T.S., Lee D., Lee J. Assessment of K0 correlation to strength for granular materials. *Soils and Foundations*. 2013; 53(4):584-595. DOI: 10.1016/j.sandf.2013.06.009

26. Federico A., Elia G., Murianni A. The at-rest earth pressure coefficient prediction using simple elasto-plastic constitutive models. *Computers and Geotechnics*. 2009; 36(1-2):187-198. DOI: 10.1016/j.compgeo.2008.01.006
27. Brooker E.W., Ireland H.O. Earth pressures at rest related to stress history. *Canadian Geotechnical Journal*. 1965; 2(1):1-15. DOI: 10.1139/t65-001
28. Mayne P.W., Kulhawy F.H. K-OCR relationships in soil. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*. 1983; 20(1):A2. DOI: 10.1016/0148-9062(83)91623-6
29. Badanin A.N., Bugrov A.K., Krotov A.V. The determination of the first critical load on particulate medium of sandy loam foundation. *Magazine of Civil Engineering*. 2012; 35(9):29-34. DOI: 10.5862/MCE.35.4
30. Semenova T.V., Dolgih G.V., Polugorodnik B.N. California application number of carrying capacity and dynamic cone penetrometry to assess the quality of compacted soil. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2013; 1(35):59-66. (rus.).
31. Putri E.E., Kameswara Rao V.N.S., Mannan M.A. Evaluation of modulus of elasticity and modulus of subgrade reaction of soils using CBR test. *Journal of Civil Engineering Research*. 2012; 2(1):34-40. DOI: 10.5923/j.jce.20120201.05

Received September 6, 2022.

Adopted in revised form on November 29, 2022.

Approved for publication on December 21, 2022.

B I O N O T E S: **Aleksandr A. Lunev** — Candidate of Technical Sciences, Director of the Competence Center in the Use of Secondary Material Resources in the Construction Industry; **The Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)**; 5 Mira Ave., Omsk, 644080, Russian Federation; SPIN-code: 2836-4151, Scopus: 57198893763, ResearcherID: AAZ-4755-2021, ORCID: 0000-0001-5857-1891; lunev.al.al@gmail.com.

Экспериментально-теоретический подход оценки структуры мелкозернистых модифицированных бетонов

Мария Александровна Дмитриева, Алина Дмитриевна Когай,
Владимир Нояхович Лейцин, Александр Олегович Товпинец,
Мария Владимировна Шиняева

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта);
г. Калининград, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Развитие подходов оценки структурных характеристик многокомпонентных модифицированных бетонов методами неразрушающего контроля на всех этапах гидратации является актуальным для обеспечения оптимальных реологических и прочностных характеристик современных бетонов.

Материалы и методы. В качестве исследуемого материала рассмотрен модифицированный мелкозернистый бетон, состав которого отвечает требованиям аддитивных технологий в строительстве. Модификация осуществлялась путем введения добавок и механической активацией исходной цементно-песчаной композиции. Контроль прочности полученных образцов производился с начальных этапов твердения. Структурообразование исследовалось с применением микрофокусного компьютерного томографа. После этапов компьютерной рентгеновской томографии — получения набора карт рентгеновской плотности сечений образца и компьютерного построения 3D-структуры, проведены сегментация построенной структуры на конечное число параллельных сечений и 3D-визуализация бинарных изображений для оценки характера распределения наименее плотных включений в объеме материала.

Результаты. Развита методика обработки данных компьютерной томографии для оценки структуры мелкозернистых модифицированных бетонов. Выявлены ключевые аспекты поэтапной обработки послойных изображений образцов, и получено оптимальное решение для определения пороговых значений соответствия оттенков полутонового изображения с различными по своей рентгеновской плотности структурами. В ходе сопоставления результатов прочностных испытаний и структурных исследований установлено значение процентного соотношения структурных включений различной рентгеновской плотности в процессе набора прочности.

Выводы. Предложенный подход получения сегментированных данных способствует реализации и развитию дальнейших исследований в рассматриваемой области и может стать одним из этапов формирования нового метода послойного анализа внутренней структуры мелкозернистых бетонов. Исследование образцов на ранних стадиях твердения в совокупности с использованием неразрушающих методов контроля содействует развитию оперативной оценки качества материала и повышению эффективности в процессе его разработки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мелкозернистый бетон, цементный камень, добавки, механическая активация, компьютерная томография, структурно-механические характеристики, ранние сроки твердения

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Калининградской области в рамках научного проекта № 19-48-390001 «Многокомпонентные модификаторы бетонных смесей».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Дмитриева М.А., Когай А.Д., Лейцин В.Н., Товпинец А.О., Шиняева М.В. Экспериментально-теоретический подход оценки структуры мелкозернистых модифицированных бетонов // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 1. С. 70–81. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.70-81

Автор, ответственный за переписку: Алина Дмитриевна Когай, ad.kogai@yandex.ru.

An experimental and theoretical approach to assessing the structure of fine-grained modified concretes

Maria A. Dmitrieva, Alina D. Kogai, Vladimir N. Leitsin,
Aleksandr O. Tovpinets, Maria V. Shinyayeva

Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU); Kaliningrad, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The development of approaches to assessing structural characteristics of multicomponent modified concretes using non-destructive testing methods at all stages of hydration is a relevant means focused on ensuring optimal rheological and strength characteristics of concretes.

Materials and methods. Modified fine-grained concrete was analyzed as the material under study, since its composition meets the requirements of additive technologies applied in the construction industry. Modification was implemented by intro-

ducing additives and mechanically activating the initial cement-sand composition. The strength of resulting specimens was controlled as of the onset of curing. Structure formation was studied using a computed tomography scanner.

Results. A tomography data processing approach was developed to evaluate the modified concrete's structure. Key aspects of the stage-by-stage processing of specimens' images were identified and a solution was obtained for determining the threshold values of correspondence between image shades having different density structures. In the course of comparing the results of the strength and structure study, the value of the percentage ratio of inclusions was obtained for various densities during the curing process.

Conclusions. The proposed data acquisition approach contributes to development of further research in this area; it can become a stage in developing a new concrete structure analysis method. The study of specimens at early curing stages in combination with non-destructive control methods contributes to (1) development of rapid assessment techniques, applied to the quality of materials, and (2) an efficiency increase in the process of development.

KEYWORDS: fine-grained concrete, set cement, additives, mechanical activation, computed tomography, structural and mechanical characteristics, early curing

Acknowledgements. The study was carried out with financial support from the Russian Foundation for Basic Research and the Kaliningrad Region within the framework of the scientific project No. 19-48-390001 "Multicomponent concrete mix modifiers".

FOR CITATION: Dmitrieva M.A., Kogai A.D., Leitsin V.N., Tovpinets A.O., Shinyaeva M.V. An experimental and theoretical approach to assessing the structure of fine-grained modified concretes. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(1):70-81. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.70-81 (rus.).

Corresponding author: Alina D. Kogai, ad.kogai@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Современные многокомпонентные цементные бетоны характеризуются наличием модифицирующих добавок широкого спектра действия, предназначенных для целенаправленного формирования заданной структуры. Образованная структурная матрица в таком бетоне существенно отличается от привычной модели материала, состоящей из четырех основных компонентов [1]. В процессе твердения таких материалов на основе цемента можно проследить отчетливую взаимосвязь, в которой формирование структуры напрямую зависит от соотношения подобранных компонентов, условий уплотнения и твердения. Образованная структура в дальнейшем и определяет свойства композита.

Распространенные методы изучения структурных характеристик композиционных материалов базируются на применении аппаратуры с ультразвуковым, оптическим и акустическим принципом действия. Однако методика сопровождается трудоемким процессом подготовки образца, измерения и анализа данных, а в некоторых случаях [2–4] и погружением в воду.

Ограничивающие аспекты методов исследования структуры композиционных материалов также связаны с отсутствием возможности достоверно оценить степень влияния добавок и модификаций, к примеру углеродных нанотрубок [5, 6] или полипропиленовой фибры [7], когда количественная оценка содержания и расположения волокон в объеме материала без разрушения образца в большинстве методов невозможна. Неразрушающие методы, основанные на 2D-визуализации образца, такие как метод спектроскопии электрического импеданса [8], не позволяют получить достоверную информацию о поровом пространстве материала.

Наиболее эффективным инструментом исследования внутренней структуры является томография. Этот метод дает возможность получить

последовательные изображения внутренней структуры образца на основе анализа данных об интенсивности поглощения им рентгеновского излучения. Проведение эксперимента не требует дополнительной подготовки, что существенно упрощает и ускоряет получение информации, а полное отсутствие какого-либо механического воздействия на образец позволяет достоверно визуализировать процесс структурообразования для каждого образца. Простота и универсальность подхода способствуют повышению исследовательского интереса. Цель настоящей работы заключается в развитии подхода исследования структурных характеристик модифицированных мелкозернистых бетонов на ранних сроках твердения.

Реализация последующей компьютерной обработки томограмм дает возможность получать значимые результаты. Последовательные изображения формируют представление о распространении тех или иных включений по всему объему исследуемого материала. Применение дополнительного программного обеспечения (ПО) для визуализации и обработки полученных сведений позволяет идентифицировать распространение систем пор, трещин и негидратированных компонентов, а также проанализировать фазовый состав материала. С помощью полученных данных возможно корректировать свойства материала еще на этапе его разработки или способствовать развитию методов моделирования, что может применяться для проектирования составов самозалечивающихся бетонов [9]; материалов, работающих в агрессивных средах [8, 10–12]; бетонов, предназначенных для 3D-строительства [13], и т.д. Неразрушающий характер выполнения эксперимента также способствует реализации исследования по анализу качества и состояния материала как во время, так и после приложения нагрузки, что подчеркивает его практическую значимость.

Для получения действительной статистической информации о структуре материала на основе

изображений необходимо осуществить пошаговый процесс их обработки. В настоящее время для этих целей успешно используются несколько алгоритмов, позволяющих сегментировать данные съемки на дискретные фазы в зависимости от их плотности. Наименее плотные включения отображаются черными пикселями в соответствии с градацией серых оттенков на полученных послойных изображениях, что дает возможность применить алгоритмы сегментации для их отделения от более плотных фаз. Такой подход успешно реализуется для композиционных материалов с пенообразующими добавками, чья структура явно представлена неплотными элементами. Однако для многокомпонентных систем необходимо развитие иных способов обработки и анализа элементов структуры.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Состав исследуемого бетона спроектирован с использованием микрокремнезема и метакаолина, способствующих повышению прочностных свойств композита за счет высокого наполнения матричной системы дисперсными частицами [14–16]; полипропиленового фиброволокна в качестве армирующего компонента [17]; суперпластификатора для повышения плотности и подвижности [18, 19] и активированной цементно-песчаной смеси. Совместная активация цемента и песка производилась на шаровой мельнице Emax Retsch в течение 5 минут в режиме 1000 об/мин, так как эффективность данного режима была доказана в исследовании [20].

Итоговый состав с расходом компонентов на 1 м³ смеси следующий: цемент (М500, ЦЕМ I 42,5Н, ООО «Петербургцемент») — 520,83 кг; песок строительный (немытый, фракции 1,25 и 0,315 мм, Калининградская область) — 1116,94 кг; микрокремнезем (отходы металлургической промышленности, Польша) — 149,31 кг; метакаолин (высокоактивный ВМК-45, белый, ООО «СИНЕРГО», Челябинская область) — 74,65 кг; полипропиленовая фибра (длина волокон 10–12 мм, толщина 12 мкм, Россия) — 1,04 кг; гиперпластификатор Stachement 1267 (поликарбоксилатная основа, Stachema, Польша) — 11,11 л. Указанный состав соответствует современным представлениям о высокопрочных бетонах нового поколения, а также согласуется с требованиями, предъявляемыми к бетонам для аддитивных 3D-технологий по адгезии и подвижности смеси [21–23].

Изготовлены лабораторные образцы с различным содержанием активированной части цементно-песчаной композиции: контрольный (№ 1) на основе базовой композиции без добавления активированного компонента, состав № 2 с замещением 50 % цементно-песчаной смеси активированной частью, а также составы № 3 и 4 с замещением в 75 и 100 %

соответственно. В связи с увеличением удельной поверхности частиц активированной композиции наблюдался рост водопотребления сухих компонентов и, как следствие, рост водоцементного отношения от 0,73 до 1,1.

Для выявления зависимости и оценки влияния сформированной структуры на прочность бетона проведены поэтапные измерения данного параметра в первые 90 мин от начала затворения смеси. Послойное уплотнение осуществлялось в три формы с размером ячеек 20 × 20 × 20 мм. Спустя 30 мин исследование начальной прочности выполнялось на испытательной машине Instron ElectroPuls 1000. Эксперимент осуществлялся поэтапно: каждые три образца образовывали серию, а интервал между первыми образцами в серии составил 15 мин.

Первый шаг в многоэтапном процессе визуализации внутренней структуры исследуемого материала заключается в подборе подходящего контейнера для формования, способного обеспечить герметичность во время проведения съемки. Сохранение исходного баланса между компонентами и количеством воды, участвующей в гидратации и наборе прочности образца, критически важно для корректной оценки процесса формирования структуры на ранних сроках твердения. На данный момент универсальной и подходящей емкости среди готовых технологических решений нет. Однако для осуществления испытаний в рамках настоящего исследования был использован полимерный цилиндрический контейнер шприца. Диаметр контейнера определен в соответствии с размером исходных компонентов мелкозернистого бетона указанного ранее состава на основе условий представительности [24] и репрезентативности исследуемого объема. Уплотненная в полимерный контейнер смесь закреплялась на раме в камере рентгеновского компьютерного томографа YXLON Cheetah (рис. 1).

Следующий этап заключается в подборе параметров съемки в интерфейсе томографа с целью достижения наиболее четкого результата визуализации. Так, были подобраны ток, напряжение и угол поворота. Параметры съемки для всех исследуемых образцов оставались постоянными: напряжение 85 кВт, ток 45 мА, приближение 8,9, количество проекций 1440.

Результаты съемки — это набор последовательных изображений, дальнейшая обработка которых зависит от выбранного ПО. Из исходных снимков невозможно интерпретировать информацию о внутреннем строении, так как они — не более чем покадровое движение образца по горизонтальной оси внутри камеры. Реконструкция данных происходила в программе Volume Graphics Studio¹ (рис. 2).

Затем послойные изображения редактировались по уровню яркости/контрастности для улуч-

¹ VGSTUDIO // Volume Graphics. URL: <https://www.volumegraphics.com/en/products/vgstudio.html>

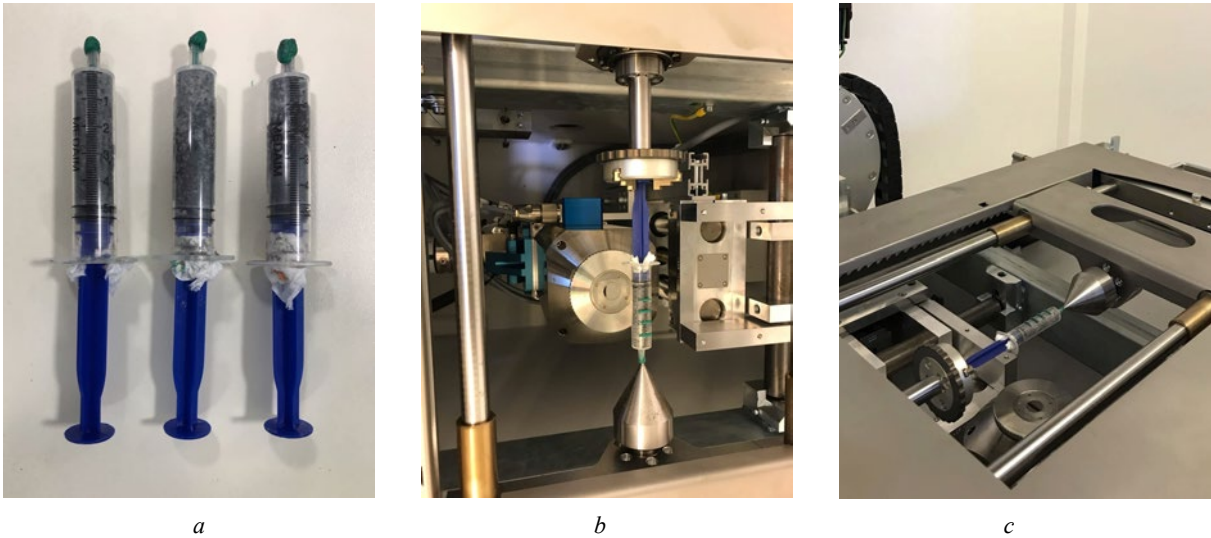


Рис. 1. Исследуемые образцы: *a* — цилиндрические контейнеры со смесью; *b* и *c* — закрепление образца на испытательной раме внутри камеры томографа

Fig. 1. Tested specimens: *a* — cylindrical containers with the mixture inside; *b* and *c* — specimen fixed onto the testing structure inside the tomography scanner chamber

шения просматриваемости включений. Рабочее окно представляет собой вид каждого из реконструированных сечений в трех проекциях, а также сформированную на их основе 3D-модель. Основная задача этого этапа состояла в формировании массива данных для дальнейшей обработки и успешной конвертации в иные программные комплексы.

Одним из ключевых этапов является сегментация, для осуществления которой применялось ПО ImageJ в конфигурации Fiji². На базе этого ПО было разработано множество плагинов, значительно упрощающих и ускоряющих обработку изображений. Исходные снимки загружались в полноцветном формате RGB, а затем преобразовывались в полутоновые. Указанные характеристики типа изображений отображают глуби-

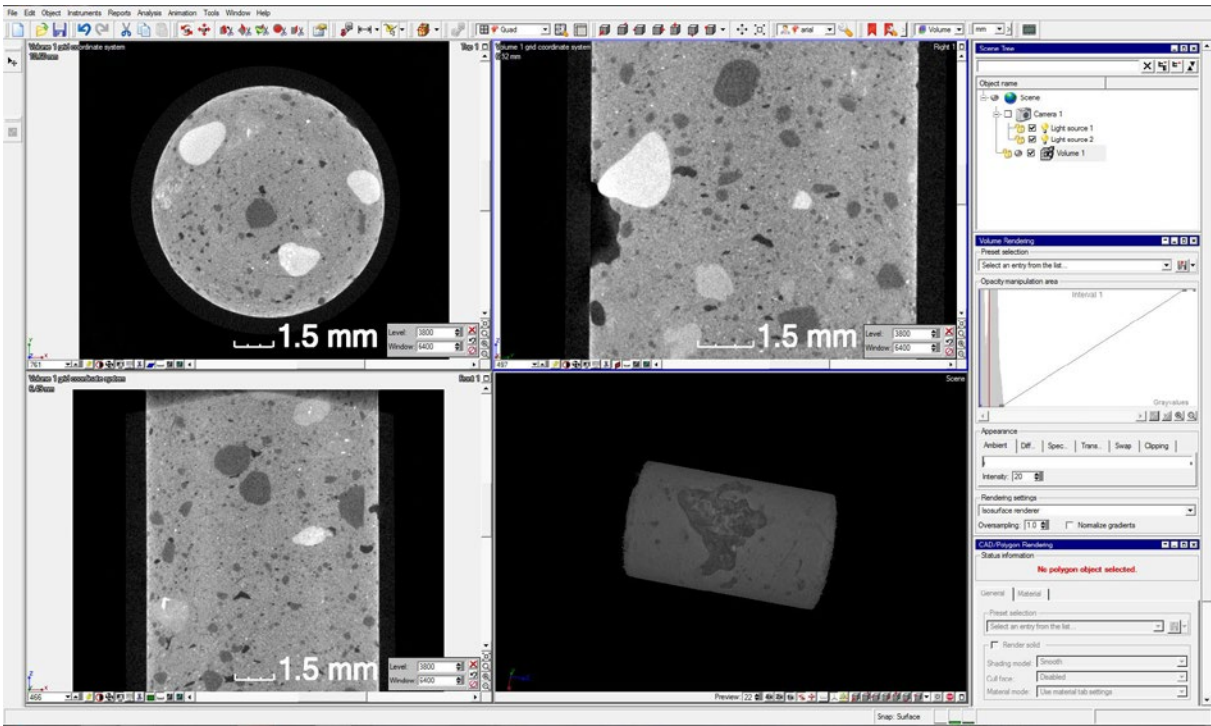


Рис. 2. Визуализация образца в трех взаимно перпендикулярных сечениях в интерфейсе Volume Graphics Studio

Fig. 2. Visualization of the specimen in three mutually perpendicular sections in the Volume Graphics Studio interface

² ImageJ. URL: <https://imagej.nih.gov/ij/>

ну цвета, а именно количество бит, необходимых для описания цвета одного пиксела [25]. Необходимо обеспечить также предварительную обработку снимков с целью уменьшения влияния различных оптических дефектов, вызванных, например, затуханием лучей от центра к периферии или вращением объекта в томографе, что приводит к высокой яркости по краям или смещению изображений поперечного сечения относительно друг друга соответственно. Для решения таких задач используются фильтры, такие как медианный или фильтр Куваха.

Следующий этап сегментации заключался в определении пороговых значений соответствия между цветовыми пикселями в градации серого, относящиеся к тому или иному материалу в образце, и их числовым значением от 0 до 255. Этот диапазон соответствует преобразованному полутоновому типу изображения, для которого два указанных крайних значения отождествляют черный цвет и белый соответственно.

Мелкозернистый бетон исследуемого состава характеризуется как многокомпонентный, в связи с чем его внутренняя структура представлена наиболее явно четырьмя основными диапазонами градации серого: диапазон черных пикселей представлен наличием в структуре материала пор, трещин и пустот; темно-серый соответствует негидратированным компонентам; светло-серый обозначает цементный раствор; белый относится к наиболее плотным частицам заполнителя. В рамках исследования для бинаризации применялись как глобальные, так и локальные алгоритмы обработки вследствие многокомпонентности материала.

В результате сегментации были образованы два массива данных: с бинарными послойными изображениями всех включений, соотносящихся как с поровым пространством, так и непрореагированными частицами, а также сегментированные снимки только наименее плотных включений. Дальнейшие преобразования заключались в использова-

нии полученных данных в качестве основы для их 3D-визуализации. Для этих целей применялось программное обеспечение Avizo³.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты, полученные в ходе определения ранней прочности мелкозернистого бетона, позволили изучить влияние формируемой структуры композита на изменение физико-механических свойств. Наименьшим значением прочности на момент окончания серии испытаний обладает контрольный состав (№ 1). Составы с замещением цементно-песчаной композиции активированной частью в различном процентном отношении характеризуются равномерным повышением прочности в течение всего времени проведения эксперимента. Однако наиболее высокое значение относится к составу № 3 с 75%-ным замещением компонентов. На основе полученных значений построен график набора прочности образцами в течение первых 90 мин (рис. 3).

Анализировались и результаты, полученные в процессе компьютерной томографии исследуемых образцов. Во всех образцах присутствуют включения негидратированных частиц темно-серого цвета. Структура контрольного образца представлена большим количеством плотных включений заполнителя. Состав под № 2 также обладает некоторым количеством равномерно распределенных частиц заполнителя, однако стоит отметить увеличение плотности цементного камня (ЦК) и расстояния между различными фазами материала. Образцы составов № 3 и 4 представлены наиболее связанной структурой. Несмотря на то что в сечении образца с 75%-ным замещением компонентов активированной цементно-песчаной смесью по-прежнему просматриваются редкие включения заполнителя, общая структура ЦК образует плотную систему (рис. 4).

На снимках явно отмечается отсутствие признаков макропор, образованных в результате не-

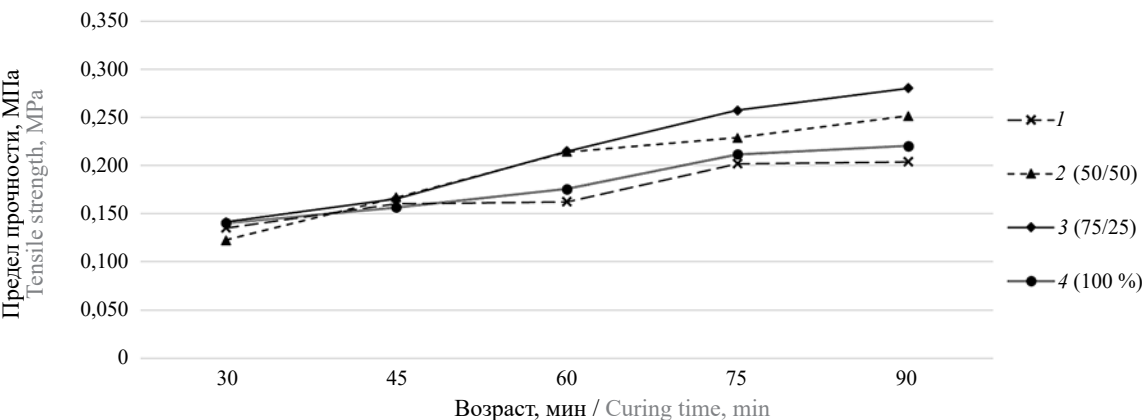


Рис. 3. График роста прочности с течением времени

Fig. 3. The graph showing strength enhancement over time

³ Avizo. URL: <https://www.thermofisher.com/ru/ru/home/electron-microscopy/products/software-em-3d-vis/avizo-software.html>

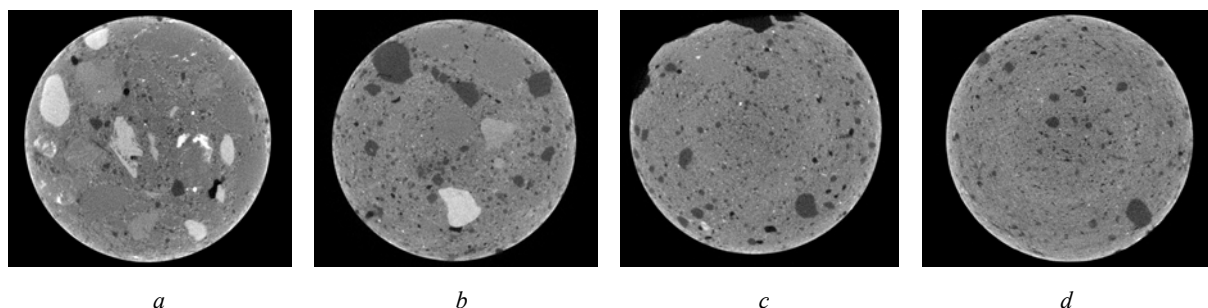


Рис. 4. Поперечные сечения образцов: *a* — состав № 1; *b* — состав № 2; *c* — состав № 3; *d* — состав № 4

Fig. 4. Cross sections of the specimens: *a* — composition 1; *b* — composition 2; *c* — composition 3; *d* — composition 4

равномерного уплотнения смеси в полимерный контейнер. Однако в структуре образца состава № 4 наблюдается полное отсутствие каких-либо пустот, что, вероятно, свидетельствует об активном формировании структуры на более низких масштабных уровнях. Можно также предположить, что наличие в составе зерен заполнителя еще на этапе укладки провоцирует вовлечение воздуха вследствие менее связной и однообразной консистенции. Наибольшее число негидратированных агломератов встречается в образце № 2, распределение которых не характеризуется четкой закономерностью. Главное предположение о сущности этих включений основывается на сложности тщательного перемешивания микрокремнезема на этапе затворения смеси, что в дальнейшем не позволяет образованным комочкам участвовать в гидратации (рис. 5).

Набор данных съемки после загрузки в Avizo до проведения сегментации позволяет анализировать каждое изображение образца в четкой последовательности снимков, что дает возможность выделить наиболее репрезентативное сечение для дальнейшего наблюдения за его структурообразованием в течение времени.

Таким образом, на примере состава № 3 выполнен анализ изменений внутренней структуры бетона в первые 60 мин после затворения. В поперечном сечении просматриваются все основные включения от заполнителя до полипропиленовой фибры, что позволит оценить характер изменений вокруг каждого элемента структуры (рис. 6). Можно

отметить небольшие изменения в форме и объеме некоторых пустот, а также частицах негидратированного микрокремнезема. Область вокруг волокон полипропиленовой фибры не претерпевает никаких изменений, как и большая часть ЦК.

В продольном сечении снимка того же порядкового номера изменения прослеживаются более четко (рис. 7). На некоторых участках можно видеть смещение пор в сторону частиц микрокремнезема. Мелкие негидратированные частицы существенно изменились в размерах как в сторону их уменьшения, так и увеличения, связанного с агрегацией. Визуальное сравнение снимков позволяет сделать вывод о том, что в течение 60 мин от начала затворения в структуре материала происходят видимые преобразования.

Ранее было отмечено, что устранение визуальных дефектов и шумов является первым этапом в процессе цифровой обработки набора данных. В работе использовались сглаживающие фильтры Кувахара и медианный. В первом случае наблюдается сохранение четкости краев, сохраняя при этом накладываемый сглаживающий эффект. Во втором — создание более размытого изображения. Существенных различий в результате сглаживания двумя представленными фильтрами не наблюдалось. В связи с этим как инструмент предварительной обработки может быть использован любой из них. В качестве примера влияния фактора повышения коэффициента затухания от центра к периферии также применен алгоритм ручного подбора

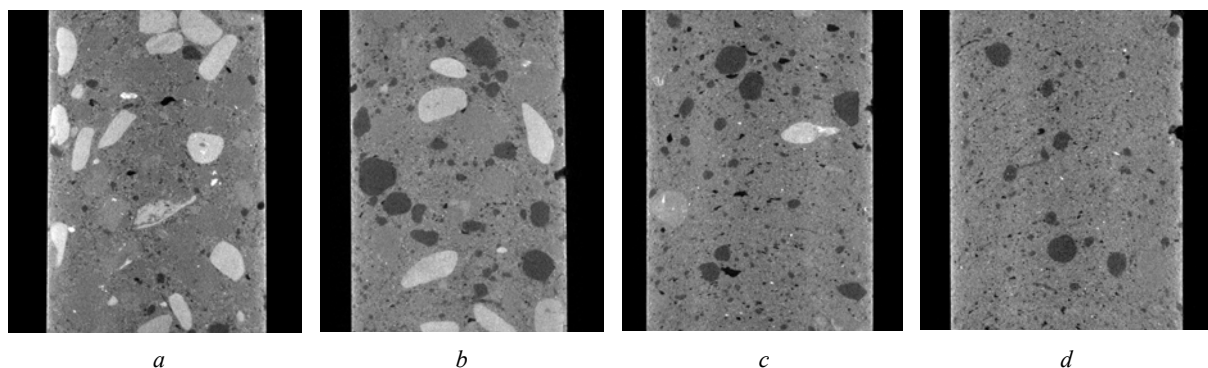


Рис. 5. Продольные сечения образцов: *a* — состав № 1; *b* — состав № 2; *c* — состав № 3; *d* — состав № 4

Fig. 5. Longitudinal sections of the specimens: *a* — composition 1; *b* — composition 2; *c* — composition 3; *d* — composition 4

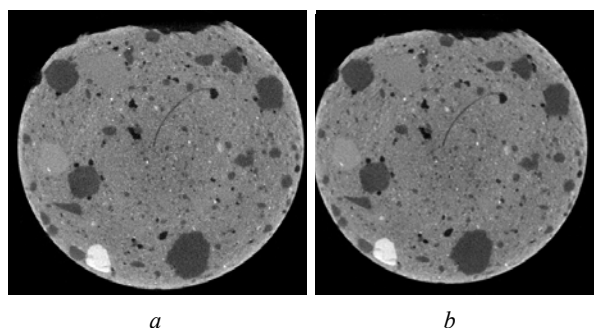


Рис. 6. Поперечное сечение образца с 75%-ным замещением цементно-песчаной смеси: *a* — сразу после затворения; *b* — спустя 60 мин

Fig. 6. The cross section of a specimen with the 75 % replacement of the cement-sand mixture: *a* — immediately after mixing; *b* — 60 minutes later

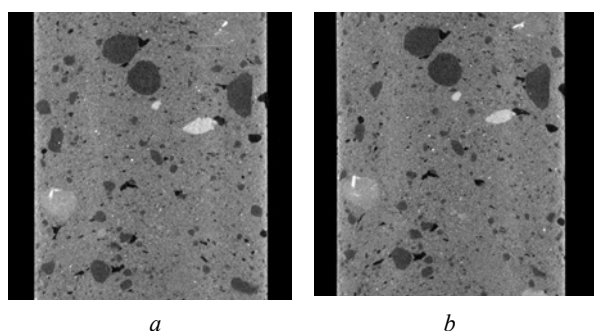


Рис. 7. Продольное сечение образца с 75%-ным замещением цементно-песчаной смеси: *a* — сразу после затворения; *b* — спустя 60 мин

Fig. 7. The longitudinal section of the specimen with the 75 % replacement of the cement-sand mixture: *a* — immediately after mixing; *b* — 60 minutes later

пороговых значений бинаризации на основе гистограммы. Однако на получившихся результатах отображалось абсолютно недостоверное изображение пикселей, характеризующих менее плотные включения. Это позволяет заключить, что настраиваемые вручную параметры сегментации не являются репрезентативным способом пороговой обработки для мелкозернистых бетонов.

Сегментация, как уже было упомянуто выше, проводилась дважды: алгоритмом глобальной пороговой сегментации по средним значениям пикселей, а также локальной на основе алгоритмов Оцу [26] и Саувола [27]. На снимках наблюдалось наличие избыточной информации в местах, соответствующих плотным скоплениям заполнителя, а также не относящихся ни к порам, ни к частицам микрокремнезема.

Сравнение двух алгоритмов локальной сегментации выполнялось на предварительно обработанных изображениях. Пороговое значение для изображения с наложенным фильтром Кувахара определено алгоритмом Саувола (рис. 8), в то время как для снимка с медианным фильтром использовался алгоритм локальной сегментации Оцу (рис. 9).

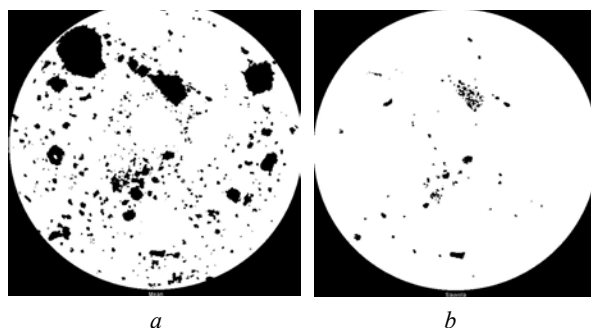


Рис. 8. Использование алгоритмов бинаризации для изображений с фильтром Кувахара: *a* — глобальная бинаризация; *b* — локальная бинаризация

Fig. 8. Using binarization algorithms for images with the Kuwahara filter: *a* — global binarization; *b* — local binarization

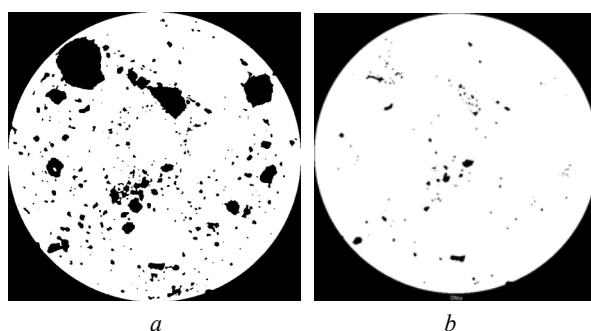


Рис. 9. Использование алгоритмов бинаризации для изображений с медианным фильтром: *a* — глобальная бинаризация; *b* — локальная бинаризация

Fig. 9. Using binarization algorithms for images with a median filter: *a* — global binarization; *b* — local binarization

Наиболее успешно был реализован алгоритм Оцу. На снимке наблюдается четкий контур для каждого из наименее плотных элементов структуры, относящихся к диапазону черных цветов в исходном изображении. В правой нижней четверти в результате сегментации этим методом указаны небольшие по своему размеру поры, в то время как алгоритм Саувола их не идентифицировал. Стоит также отметить и некоторое завышение количества сегментированных пикселей в негидратированных участках на примере использования алгоритма Саувола.

Подсчет статистических данных об элементах структуры осуществлялся путем реализации поэтапной сегментации рядовых поперечных сечений образцов (рис. 10). Составы № 1 и 4 характеризуются наибольшим числом плотных компонентов. Можно предположить, что в случае с контрольным составом такие показатели сформировались за счет плотности зерен заполнителя, в то время как в составе со 100%-ным содержанием активированной цементно-песчаной композиции плотность образует за счет ЦК. Наименьшим содержанием пор, трещин и иных включений в диапазоне значений черного обладает состав № 2, однако количество

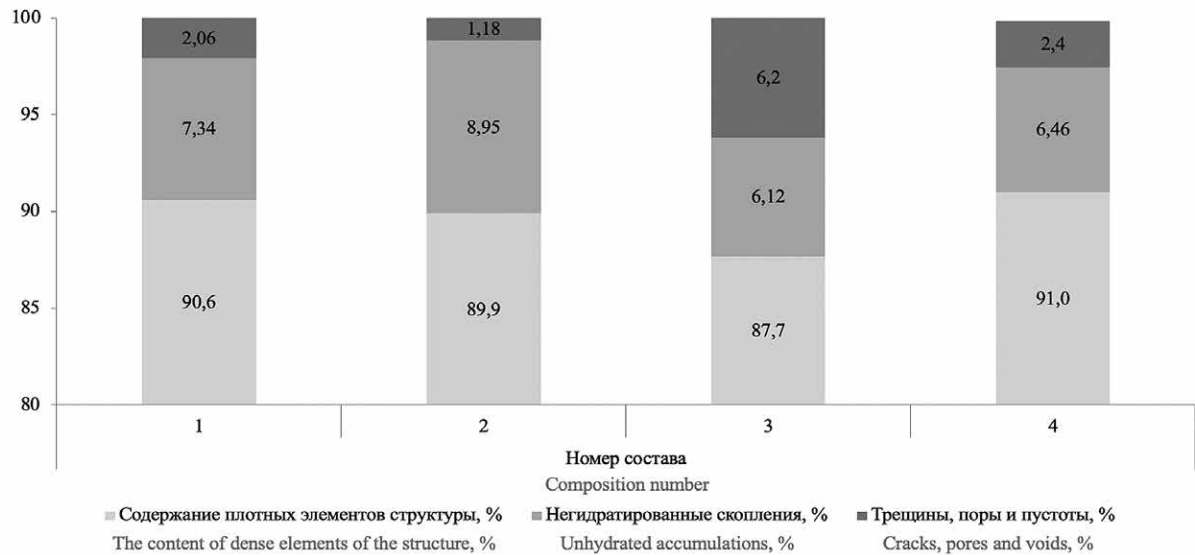


Рис. 10. Соотношение основных сегментированных включений

Fig. 10. The ratio between the main segmented inclusions

негидратированных включений имеет наивысший показатель также у рассматриваемого состава. Состав № 3, продемонстрировавший наибольший прирост прочности в ходе эксперимента ранее, отличается наименьшим процентом негидратированных скоплений, хотя и меньшим содержанием плотных участков, что характеризует особенности формирования структуры многокомпонентных бетонов. Немонотонность характера распределения наименее плотных фаз свидетельствует о возможности оптимизации состава.

Последующая работа с сегментированными изображениями заключалась в 3D-визуализации образованного порового пространства в объеме исследуемых образцов, а также цементной матрицы. Визуализация способствует оперативному определению формы интересующей структуры. Сохраняя данные об исходных сегментированных снимках, можно проанализировать элементы на конкретном слое, а также в целом оценить связность и размер различных скоплений неплотных компонентов. Полученные результаты являются основой для дальнейшей работы в трехмерной обработке цифровых изображений томографа в рамках исследования

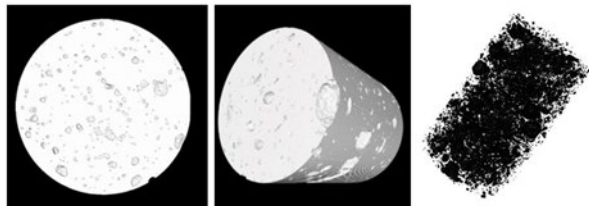


Рис. 11. Смоделированный вид объема образца на основе сегментированных снимков

Fig. 11. A simulated view of the specimen volume based on segmented images

процессов структурообразования мелкозернистых бетонов (рис. 11).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного исследования был развит подход обработки данных компьютерной томографии для оценки структуры мелкозернистых модифицированных бетонов. На основании анализа и изучения современного состояния вопроса выявлены ключевые аспекты поэтапной обработки послойных изображений образцов. Предложено технологическое решение по уплотнению затворенной смеси в полимерный цилиндрический контейнер представительного объема. В процессе проведения серии экспериментов установлено, какие именно визуальные артефакты препятствуют корректной сегментации данных. Также экспериментально найдено оптимальное решение для определения пороговых значений соответствия оттенков полутонового изображения с различными по своей плотности структурами. По итогам экспериментальных исследований отмечены основные структурные особенности образцов каждого из рассматриваемых составов. Визуализация образцов с различным содержанием активированных исходных компонентов позволила наглядно продемонстрировать качество распределения заполнителя в репрезентативном объеме. По результатам сегментации получены процентные соотношения структурных включений различной плотности, а также их трехмерная визуализация. По итогам решения поставленных задач достигнута и основная цель исследования, заключающаяся в изучении структурных характеристик мелкозернистых модифицированных бетонов на ранних сроках твердения.

Предложенная методика получения сегментированных данных способствует реализации и развитию дальнейших исследований в рассматриваемой области и может стать одним из этапов формирования нового подхода к послойному анализу внутренней структуры мелкозернистых

бетонов. Исследование образцов на ранних стадиях твердения в совокупности с использованием неразрушающих методов контроля содействует развитию оперативной оценки качества материала и повышению эффективности в процессе его разработки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Архипов В.П., Вернигорова В.Н., Гакиметер Г.В., Горикова Л.В., Елесин М.А., Ермаков Д.А. и др. Эффективные высокопрочные и обычные бетоны : монография. Пенза : Приволжский Дом знаний, 2015. 148 с.

2. Agrawal M., Prasad A., Bellare J.R., Sesshia A.A. Characterization of mechanical properties of materials using ultrasound broadband spectroscopy // *Ultrasonics*. 2016. Vol. 64. Pp. 186–195. DOI: 10.1016/j.ultras.2015.09.001

3. Pantoja-Cortés J., Sánchez-Bajo F., Ortiz A.L. Evaluating nanocrystallite size distributions in doped and undoped nanocrystalline ceramics by X-ray diffractometry // *Ceramics International*. 2018. Vol. 44. Issue 18. Pp. 22365–22369. DOI: 10.1016/j.ceramint.2018.08.363

4. Петухов В.Д., Рябчиков С.В. Особенности и виды механических, физических и комплексных неразрушающих методов определения прочности бетона и анализ их применения // *Информационно-технологический вестник*. 2022. № 1 (31). С. 189–201.

5. MacLeod A.J.N., Collins F.G., Duan W., Gates W.P. Quantitative microstructural characterisation of Portland cement-carbon nanotube composites using electron and X-ray microscopy // *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 123. P. 105767. DOI: 10.1016/j.cemconres.2019.05.012

6. Sikora P., Elrahman M.A., Chung S.-Y., Cendrowski K., Mijowska E., Stephan D. Mechanical and microstructural properties of cement pastes containing carbon nanotubes and carbon nanotube-silica core-shell structures, exposed to elevated temperature // *Cement and Concrete Composites*. 2019. Vol. 95. Pp. 193–204. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2018.11.006

7. Cruz J., Segura I., Pujadas P., Torrents J.M., Fuente A. Non-destructive test approach for assessing the amount of fibre in polymeric fibre reinforced concrete // *Construction and Building Material*. 2022. Vol. 317. P. 125964. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125964

8. Chandrappa A.K., Biligiri K.P. Pore structure characterization of pervious concrete using x-ray micro-computed tomography // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2018. Vol. 30. Issue 6. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002285

9. Sidiq A., Gravina R.J., Setunge S., Giustozzi F. High-efficiency techniques and micro-structural

parameters to evaluate concrete self-healing using X-ray tomography and Mercury Intrusion Porosimetry: A review // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 252. P. 119030. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119030

10. Liu F., You Z., Yang X., Wang H. Macro-micro degradation process of fly ash concrete under alternation of freeze-thaw cycles subjected to sulfate and carbonation // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 181. Pp. 369–380. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.037

11. Robuschi S., Tengattini A., Dijkstra J., Fernandez I., Lundgren K. A closer look at corrosion of steel reinforcement bars in concrete using 3D neutron and X-ray computed tomography // *Cement and Concrete Research*. 2021. Vol. 144. P. 106439. DOI: 10.1016/j.cemconres.2021.106439

12. Stein R.C., Petkovski M., Engelberg D.L., Leonard F., Withers P.J. Characterizing the effects of elevated temperature on the air void pore structure of advanced gas-cooled reactor pressure vessel concrete using X-ray computed tomography // *EPJ Web of Conferences*. 2013. Vol. 56. P. 04003. DOI: 10.1051/epjconf/20135604003

13. Sharanova A., Dmitrieva M., Leitsin V., Shinyayeva M. Method for calculating the porosity of cement composite materials using X-ray computed tomography // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1030. Issue 1. P. 012092. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012092

14. Алтынбек А., Байбулеков А. Влияние микронаполнителей на структурообразование и физико-механические свойства мелкозернистого бетона // *Науч. тр. ЮКГУ им. М. Ауэзова*. 2019. № 1 (49). С. 7–10.

15. Минниханова М.Б. Применение метакрилатов в цементных смесях // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования*. 2012. Т. 2. № 70. С. 186–187.

16. Харченко А.И., Алексеев В.А., Харченко И.Я., Баженов Д.А. Структура и свойства мелкозернистых бетонов на основе композиционных вяжущих // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. № 3. С. 322–331. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.3.322-331

17. Коровкин М.О., Ерошкина Н.А., Крайнова К.А. Влияние способа введения полипропиленовой микрофибры на свойства мелкозернистого

бетона // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2020. № 5 (30). С. 114–122.

18. Дружинкин С.В., Немыкина Д.А., Краснова Е.А. Влияние суперпластифицирующих добавок на прочность бетона // Инженерный Вестник Дона. 2018. № 2 (49). С. 212.

19. Тарасов В.Н., Гусев Б.В., Петрунин С.Ю., Короткова Н.П., Гарновесов А.П. Оценка эффективности применения поликарбоксилатных суперпластификаторов для производства бетона // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2018. Т. 4. № 1. С. 29–40.

20. Дмитриева М.А., Шаранова А.В., Панфилова А.Д., Плехтий А.А. Реологические свойства строительных растворов, применяемых для 3D-печати // Современные строительные материалы и технологии : сб. тр. конф. 2019. С. 18–32.

21. Панфилова А.Д., Когай В.В., Шаранова А.В. Исследование процессов набора прочности механоактивированных бетонных смесей // Дни науки : мат. межвузовской науч.-техн. конф. студентов и курсантов. 2021. С. 158–162.

22. Шаранова А.В., Дмитриева М.А. Подбор композиций, пригодных для реализации аддитив-

ных технологий в строительстве // Современные строительные материалы и технологии : сб. тр. конф. 2019. С. 51–72.

23. Шаранова А.В., Дмитриева М.А., Ленкова Д.А., Панфилова А.Д., Беляускас Э.Р., Бабищ П.Д. Исследование кинетики набора прочности мелкозернистых бетонных систем ускоренного твердения // Третий междисциплинарный молодежный науч. форум с междунар. участием «Новые материалы» : сб. тр. конф. 2017. С. 383–385.

24. Dvorak G. Micromechanics of Composite Materials // Solid Mechanics and Its Applications. 2013. DOI: 10.1007/978-94-007-4101-0

25. Старовойтов В., Голубь Ю. Цифровые изображения: от получения до обработки. Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2014. 202 с.

26. Mahgoub A., Talab A., Huang Zh., Xi F., HaiMing L. Detection crack in image using Otsu method and multiple filtering in image processing techniques // Optik. 2016. Vol. 127. Issue 3. Pp. 1030–1033. DOI: 10.1016/j.ijleo.2015.09.147

27. Ибрафилов Х.С. Исследование методов бинаризации изображений // Вестник науки и образования. 2017. Т. 2. № 6 (30). С. 43–50.

Поступила в редакцию 16 ноября 2022 г.

Принята в доработанном виде 4 декабря 2022 г.

Одобрена для публикации 21 декабря 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: Мария Александровна Дмитриева — доктор физико-математических наук, профессор, профессор ОНК «Институт высоких технологий»; Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта); 236041, г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14; РИНЦ ID: 115921, Scopus: 16237921700, ResearcherID: C-7643-2014, ORCID: 0000-0002-9593-8653; admitrieva@kantiana.ru;

Алина Дмитриевна Когай — аспирант, ОНК «Институт высоких технологий»; Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта); 236041, г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14; РИНЦ ID: 1091769, Scopus: 57189364472, ResearcherID: ABE-7359-2020, ORCID: 0000-0002-1635-9371; ad.kogay@yandex.ru;

Владимир Нояхович Лейцин — доктор физико-математических наук, профессор, профессор ОНК «Институт высоких технологий»; Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта); 236041, г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14; РИНЦ ID: 115921, Scopus: 16239305000, ResearcherID: I-9610-2017, ORCID: 0000-0002-6140-256X; vleitsin@kantiana.ru;

Александр Олегович Товпинец — младший научный сотрудник лаборатории фундаментального и прикладного материаловедения НТП «Фабрика»; Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта); 236041, г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14; РИНЦ ID: 608514, Scopus: 57192373318, ResearcherID: T-9764-2017, ORCID: 0000-0001-8860-6872; atovpinets@kantiana.ru;

Мария Владимировна Шиняева — магистрант; Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта); 236041, г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14; Scopus: 57222128928; mshinyaeva@stud.kantiana.ru.

Вклад авторов:

Дмитриева М.А. — научное руководство, постановка задачи.

Когай А.Д. — обработка материала, написание исходного текста.

Лейцин В.Н. — научное редактирование, концепция исследования.

Товпинец А.О. — развитие методологии.

Шиняева М.В. — обработка результатов компьютерной томографии.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Arkhipov V.P., Vernigorova V.N., Gaksteter G.V., Gorshkova L.V., Yelesin M.A., Erma- kov D.A. et al. *Effective high-strength and ordinary concretes : monograph*. Penza, Privolzhsky House of Knowledge, 2015; 148. (rus.).
2. Agrawal M., Prasad A., Bellare J.R., Ses- hia A.A. Characterization of mechanical properties of materials using ultrasound broadband spectroscopy. *Ultrasonics*. 2016; 64:186-195. DOI: 10.1016/j.ul- tras.2015.09.001
3. Pantoja-Cortés J., Sánchez-Bajo F., Ortiz A.L. Evaluating nanocrystallite size distributions in doped and undoped nanocrystalline ceramics by X-ray diffrac- tometry. *Ceramics International*. 2018; 44(18):22365- 22369. DOI: 10.1016/j.ceramint.2018.08.363
4. Petukhov V.D., Rabchicov S.V. Various of methods that could be used in non-destructive pur- pose for expecting and analysis of the strength of con- crete and its subsequent application. *Information-Tech- nological Bulletin*. 2022; 1(31):189-201. (rus.).
5. MacLeod A.J.N., Collins F.G., Duan W., Gates W.P. Quantitative microstructural characterisa- tion of Portland cement-carbon nanotube composites using electron and X-ray microscopy. *Cement and Concrete Research*. 2019; 123:105767. DOI: 10.1016/j. cemconres.2019.05.012
6. Sikora P., Elrahman M.A., Chung S.-Y., Cend- rowski K., Mijowska E., Stephan D. Mechanical and microstructural properties of cement pastes containing carbon nanotubes and carbon nanotube-silica core- shell structures, exposed to elevated temperature. *Ce- ment and Concrete Composites*. 2019; 95:193-204. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2018.11.006
7. Cruz J., Segura I., Pujadas P., Torrents J.M., Fuente A. Non-destructive test approach for asses- sing the amount of fibre in polymeric fibre reinforced concrete. *Construction and Building Material*. 2022; 317:125964. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125964
8. Chandrappa A.K., Biligiri K.P. Pore structure characterization of pervious concrete using x-ray mi- crocomputed tomography. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2018; 30(6). DOI: 10.1061/(ASCE)MT. 1943-5533.0002285
9. Sidiq A., Gravina R.J., Setunge S., Gius- tozzi F. High-efficiency techniques and micro-struc- tural parameters to evaluate concrete self-healing using X-ray tomography and Mercury Intrusion Porosimetry: A review. *Construction and Building Materials*. 2020; 252:119030. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119030
10. Liu F., You Z., Yang X., Wang H. Macro- micro degradation process of fly ash concrete under alternation of freeze-thaw cycles subjected to sulfate and carbonation. *Construction and Building Materi- als*. 2018; 181:369-380. DOI: 10.1016/j.conbuild- mat.2018.06.037
11. Robuschi S., Tengattini A., Dijkstra J., Fer- nandez I., Lundgren K. A closer look at corrosion of steel reinforcement bars in concrete using 3D neu- tron and X-ray computed tomography. *Cement and Concrete Research*. 2021; 144:106439. DOI: 10.1016/j. cemconres.2021.106439
12. Stein R.C., Petkovski M., Engelberg D.L., Leonard F., Withers P.J. Characterizing the effects of elevated temperature on the air void pore structure of advanced gas-cooled reactor pressure vessel con- crete using X-ray computed tomography. *EPJ Web of Conferences*. 2013; 56:04003. DOI: 10.1051/epj- conf/20135604003
13. Sharanova A., Dmitrieva M., Leitsin V., Shinyaeva M. Method for calculating the poros- ity of cement composite materials using X-ray com- puted tomography. *IOP Conference Series : Materi- als Science and Engineering*. 2021; 1030(1):012092. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012092
14. Altynbek A., Baibulekov A. Influence of mi- crofillers on structure formation and physical and me- chanical properties of fine-grained concrete. *Scientific works of SKSU named after M. Auezov*. 2019; 1(49): 7-10. (rus.).
15. Minnikhanova M.B. The use of metakaolin in cement mixtures. *Actual Problems of Modern Science, Technology and Education*. 2012; 2(70):186-187. (rus.).
16. Kharchenko A.I., Alekseev V.A., Kharchen- ko I.Ya., Bazhenov D.A. Structure and properties of fine concretes based on composite binders. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil En- gineering]*. 2019; 14(3):322-331. DOI: 10.22227/1997- 0935.2019.3.322-331 (rus.).
17. Korovkin M.O., Eroshkina N.A., Kray- nova K.A. Influence of the method of introduction of polypropylene microfiber on the properties of fine- grained concrete. *Education and Science in the Modern World. Innovation*. 2020; 5(30):114-122. (rus.).
18. Druzhinkin S.V., Nemykina D.A., Kras- nova E.A. Effect of superplasticizing additives on the strength of concrete. *Engineering journal of Don*. 2018; 2(49):212. (rus.).
19. Tarasov V.N., Gusev B.V., Petrunin S.Yu., Korotkova N.P., Garnovesov A.P. Performance as- sessment of polycarboxylate superplasticizers for con- crete manufacturing. *Journal of Science and Education of the North-West of Russia*. 2018; 4(1):1-12. (rus.).
20. Dmitrieva M.A., Sharanova A.V., Panfilo- va A.D., Plakhtiy A.A. Rheological properties of mor- tars used for 3D printing. *Modern Building Materials and Technologies : conference proceedings*. 2019; 18-32. (rus.).
21. Panfilova A.D., Kogai V.V., Sharanova A.V. Study of the processes of strength development of me- chanically activated concrete mixes. *Days of Science :*

materials of the interuniversity scientific and technical conference of students and cadets. 2021; 158-162. (rus.).

22. Sharanova A.V., Dmitrieva M.A. Selection of compositions suitable for the implementation of additive technologies in construction. *Modern Building Materials and Technologies : conference proceedings*. 2019; 51-72. (rus.).

23. Sharanova A.V., Dmitrieva M.A., Lenkova D.A., Panfilova A.D., Belyauskas E.R., Babich P.D. Study of the kinetics of strength development of fine-grained concrete systems of accelerated hardening. *Third interdisciplinary youth scientific forum with international participation "New materials" : conference proceedings*. 2017; 383-385. (rus.).

24. Dvorak G. Micromechanics of Composite Materials. *Solid Mechanics and Its Applications*. 2013. DOI: 10.1007/978-94-007-4101-0

25. Starovoitov V., Golub Yu. *Digital images: from acquisition to processing*. Minsk, OIPI NAS of Belarus, 2014; 202. (rus.).

26. Mahgoub A., Talab A., Huang Zh., Xi F., HaiMing L. Detection crack in image using Otsu method and multiple filtering in image processing techniques. *Optik*. 2016; 127(3):1030-1033. DOI: 10.1016/j.ijleo.2015.09.147

27. Israfilov H.S. Research of image binarization methods. *Bulletin of Science and Education*. 2017; 2(6): 43-50. (rus.).

Received November 16, 2022.

Adopted in revised form on December 4, 2022.

Approved for publication on December 21, 2022.

B I O N O T E S : **Maria A. Dmitrieva** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Institute of High Technologies; **Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU)**; 14 Alexander Nevsky st., Kaliningrad, 236041, Russian Federation; ID RSCI: 115921, Scopus: 16237921700, ResearcherID: C-7643-2014, ORCID: 0000-0002-9593-8653; admtrieva@kantiana.ru;

Alina D. Kogai — postgraduate, Institute of High Technologies; **Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU)**; 14 Alexander Nevsky st., Kaliningrad, 236041, Russian Federation; ID RSCI: 1091769, Scopus: 57189364472, ResearcherID: ABE-7359-2020, ORCID: 0000-0002-1635-9371; ad.kogay@yandex.ru;

Vladimir N. Leitsin — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Institute of High Technologies; **Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU)**; 14 Alexander Nevsky st., Kaliningrad, 236041, Russian Federation; ID RSCI: 115921, Scopus: 16239305000, ResearcherID: I-9610-2017, ORCID: 0000-0002-6140-256X; vleitsin@kantiana.ru;

Aleksandr O. Tovpinets — Junior Researcher, Laboratory of Fundamental and Applied Materials Science, Science and Technology Park "Fabrika"; **Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU)**; 14 Alexander Nevsky st., Kaliningrad, 236041, Russian Federation; ID RSCI: 608514, Scopus: 57192373318, ResearcherID: T-9764-2017, ORCID: 0000-0001-8860-6872; atovpinets@kantiana.ru;

Maria V. Shinyaeva — undergraduate; **Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU)**; 14 Alexander Nevsky st., Kaliningrad, 236041, Russian Federation; Scopus: 57222128928; mshinyaeva@stud.kantiana.ru.

Contribution of the authors:

Maria A. Dmitrieva — scientific guidance, problem statement.

Alina D. Kogai — processing of the material, writing the original text.

Vladimir N. Leitsin — scientific editing, research concept.

Aleksandr O. Tovpinets — development of methodology.

Maria V. Shinyaeva — processing the results of computed tomography.

Расчет уровня энергетически целесообразной теплозащиты

Анастасия Анатольевна Фролова^{1,2}, Павел Игоревич Лухменёв^{1,3}

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

² *Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова (МГОТУ); г. Королев, Россия;*

³ *Инженерное Дело; г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Выбор уровня теплозащиты должен опираться на экономические показатели зданий с учетом затрат на поддержание заданного теплового микроклимата помещений. Поэтому вначале необходимо определить энергетические затраты на отопление, свободное и машинное охлаждение зданий. Для этой цели исследуются здания, отличающиеся размерами, этажностью в районах Российской Федерации с различной продолжительностью отопительного периода и интенсивностью солнечной радиации: в г. Москве (средняя полоса), г. Астрахани (южный район) и г. Воркуте (северный район).

Материалы и методы. Задача решается расчетным путем на примере зданий различной геометрии в Москве, Астрахани и Воркуте. Рассматриваются различные уровни тепловой защиты наружных стен и покрытий и разные значения теплопоступлений в помещения. Для всех вариантов проводится расчет энергетических годовых затрат по затратам первичного топлива. Основные методы исследования — моделирование и сравнение.

Результаты. Результаты представлены в виде таблиц годовых затрат первичной энергии, требуемых для поддержания заданного теплового режима различных вариантов зданий при разном уровне теплозащиты и теплопоступлениях.

Выводы. В рассматриваемых городах (Москва, Астрахань и Воркута) по результатам исследования получено, что наиболее выгодным вариантом теплозащиты зданий с энергетической точки зрения является наибольший уровень теплозащиты. Наличие тепловых поступлений в здание в течение года позволяет снижать нагрузку на систему отопления в холодный период года, но при этом для теплого и переходного периодов играет отрицательную роль из-за создания дополнительной нагрузки на систему кондиционирования воздуха. Из результатов расчетов также очевидно, что при теплонапряженности здания 40 Вт/м² и выше в некоторых помещениях могут возникать случаи, когда в холодное время года требуется охлаждение помещения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тепловая защита здания, энергосберегающее мероприятие, энергоэффективность, энергосбережение, первичное топливо

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Фролова А.А., Лухменёв П.И. Расчет уровня энергетически целесообразной теплозащиты // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 1. С. 82–90. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.82-90

Автор, ответственный за переписку: Анастасия Анатольевна Фролова, FrolovaAA@mgsu.ru.

Calculation of the level of energy efficient heat protection

Anastasiya A. Frolova^{1,2}, Pavel I. Lukhmenev^{1,3}

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

² *LEONOV Moscow Region University of Technology; Korolev, Russian Federation;*

³ *Engineering Delo; Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The choice of the level of heat protection of buildings should be based on the economic performance of buildings, taking into account the cost of maintaining the pre-set thermal microclimate on the premises. Hence, it is necessary to initially determine the amount of energy consumed by the heating, atmospheric and mechanical cooling of buildings. Towards this end, buildings that are different in size and have different numbers of storeys are studied. These buildings are located in various Russian regions featuring different periods of heating and solar radiation intensity. They are Moscow (central Russia), Astrakhan (southern region) and Vorkuta (northern region).

Materials and methods. The problem is solved computationally; the authors use buildings of different geometry that are located in Moscow, Astrakhan and Vorkuta. Various levels of heat protection of external walls and coatings, as well as different values of heat gain are considered. For all options, annual energy costs are calculated using primary fuel costs. Simulation and comparison were chosen as the main research methods.

Results. The results are presented in the form of tables of annual primary energy consumption required to maintain the pre-set thermal parameters for various building options featuring different levels of heat protection and heat gain.

Conclusions. According to the research findings, the highest level of heat protection is the best heat protection option from the standpoint of energy consumption in the cities under consideration (Moscow, Astrakhan and Vorkuta). Year-round heat gains reduce the load on the heating system during cold seasons; however, they have a negative impact during warm seasons and transition periods due to the additional load on the air conditioning system. According to the calculation results, if the building heat density equals or exceeds 40 W/m^2 , some rooms may need cooling during cold seasons.

KEYWORDS: heat protection of the building, energy saving actions, energy efficiency, energy saving, primary fuel

FOR CITATION: Frolova A.A., Lukhmenov P.I. Calculation of the level of energy efficient heat protection. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(1):82-90. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.82-90 (rus.).

Corresponding author: Anastasiya A. Frolova, FrolovaAA@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к определению уровня тепловой защиты зданий с точки зрения энергетической оценки возрастает с каждым годом [1–9]. Это связано с политикой энергосбережения в мире [10–14] и в Российской Федерации, в частности [15–19].

В современных нормативных документах базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций назначены исходя из энергосбережения, но не подкреплены никакими расчетами. Они определяются по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», табл. 3. Кроме того, СП 50.13330 допускает снижение базовых значений (п. 5.2) при условии, что потребление теплоты системами отопления и вентиляции здания не превысит нормируемых значений. Используя нормативный документ СП 50.13330, можно также определить значения сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций, исходя из санитарно-гигиенических условий. Однако такие значения возможно применять только для реконструируемых зданий и для которых по архитектурным или историческим причинам невозможно утепление стен снаружи.

С целью уменьшения затрат тепловой энергии зимой мы можем увеличивать сопротивление теплопередаче, за счет чего будут уменьшаться тепловые потери. В теплый период логичнее было бы уменьшить его, так как ограждающие конструкции в ночной период при выключенной системе кондиционирования воздуха могли бы легче охлаждаться из-за падения температуры наружного воздуха. Это привело бы к уменьшению потребления холода зданием.

Цель исследования — определение наиболее выгодного варианта тепловой защиты здания, способствующего экономному расходованию энергетических ресурсов.

Основная задача настоящей работы заключается в выяснении влияния различных климатических условий на энергетически целесообразный уровень теплозащиты здания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поставленная задача решалась для трех городов: Воркуты, Москвы [20] и Астрахани [21]. В табл. 1 приведена продолжительность наблюде-

ния отдельных интервалов температуры наружного воздуха в этих городах.

Продолжительность наблюдения температуры наружного воздуха в заданных интервалах определялась для г. Воркуты по СНиП II-A.6-72 «Строительная климатология и геофизика», для Москвы и Астрахани по Справочному пособию к СНиП 23-01-99* «Строительная климатология».

Воркута — город с продолжительным отопительным периодом 298 сут при низкой $-9,5^\circ\text{C}$ средней температуре. Система отопления работает в этот период круглосуточно. Система охлаждения помещения функционирует только в рабочее время. Температура наружного воздуха выше $+5^\circ\text{C}$, т.е. период машинного охлаждения длится около 84 сут. Причем температура выше поддерживаемой в помещении при машинном охлаждении 22°C , когда для сокращения теплопотуплений нужна усиленная теплозащита, бывает крайне редко — трое суток.

Москва — город с промежуточным между двумя рассматриваемыми городами климатом: отопительный период длится 205 сут и имеет среднюю температуру $-2,2^\circ\text{C}$. Период температуры наружного воздуха выше $+5^\circ\text{C}$ отмечается около 178 сут, а выше 22°C — 12 сут.

Астрахань — город с коротким относительно остальных рассмотренных городов 165 сут и теплым — средняя температура $-0,7^\circ\text{C}$ отопительным периодом. В Астрахани продолжительный теплый период года. Температура наружного воздуха выше $+5^\circ\text{C}$ длится около 228 сут. Температура выше поддерживаемой в помещении при машинном охлаждении 22°C наблюдается порядка 75 сут.

В работе рассматриваются три варианта сопротивления теплопередаче наружной стены и покрытия, рассчитанные по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»:

- первый вариант рассчитан по формуле (5.4) СП 50.13330.2012;
- второй по формуле (5.1) СП с применением понижающего коэффициента 0,63 для стен и 0,8 для покрытия по отношению к варианту 3;
- третий вариант тепловой защиты соответствует базовым нормам, исходя из энергосбережения по табл. 3 указанного СП.

Табл. 1. Число дней в году наблюдения температуры наружного воздуха в различных интервалах
Table 1. The number of days in a year when the outdoor temperature was registered

Интервал температур, °C Temperature range, °C	Средняя температура интервала, °C Average temperature, °C	Продолжительность интервала, сут Interval duration, days		
		Воркута Vorkuta	Москва Moscow	Астрахань Astrakhan
+30 ≤ t	—	—	—	12
+26 ≤ t < +29,9	+28	—	5	28
+22 ≤ t < +25,9	+24	3	7	35
+16 ≤ t < +21,9	+19	11	50	64
+8 ≤ t < +5,9	+12	42	88	66
+5 ≤ t < +7,9	+6,5	28	28	23
0 ≤ t < +4,9	+2,5	57	65	49
−5 ≤ t < −0,1	−2,5	55	52	46
−10 ≤ t < −5,1	−7,5	45	32	24
−16 ≤ t < −10,1	−13	47	23	12
−26 ≤ t < −16	−21	51	14	6
−30 ≤ t < −26,1	−28	11	1	—
−30,1 ≤ t	−38	15	—	—

Величины сопротивления теплопередаче приведены в табл. 2.

Для расчета приняты здания с одинаковой шириной 20,2 м. Длина зданий изменялась от 13,6 до 115,6 м. Все торцевые стены зданий без окон. Этажность варьировалась от 1 до 40 этажей. Доля остекления продольных стен — 0,55. Были при-

няты одинаковые офисные помещения размером 6,8 × 10,1 × 3,9 (h) м. Отдельные характеристики некоторых зданий приведены в табл. 3.

Удельные тепловые поступления в помещения (без учета солнечной радиации) приняты в рабочее время с 9 до 18 ч на трех уровнях: 0, 40, 80 Вт/м².

Табл. 2. Сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, м² · °C/Вт

Table 2. Resistance of enclosing structures to heat transfer, m² · C/W

Город City	Наименование ограждающей конструкции Type of enclosing structure	Вариант теплозащиты 1 Heat protection option 1	Вариант теплозащиты 2 Heat protection option 2	Вариант теплозащиты 3 Heat protection option 3
Воркута Vorkuta	Наружная стена / Exterior wall	1,558/1,558	2,401/2,439	3,811/3,871
	Покрытие / Coating	1,753/1,753	4,065/4,130	5,080/5,162
	Окно / Window	0,759	0,759	0,759
Москва Moscow	Наружная стена / Exterior wall	1,226/1,224	1,619/1,621	2,57/2,576
	Покрытие / Coating	1,379/1,371	2,74/2,748	3,42/3,423
	Окно / Window	0,66	0,66	0,66
Астрахань Astrakhan	Наружная стена / Exterior wall	1,05/1,057	1,40/1,400	2,22/2,224
	Покрытие / Coating	1,18	2,37/2,371	2,96/2,967
	Окно / Window	0,59	0,59	0,59

Примечание: до черты показаны значения требуемых нормами сопротивлений теплопередаче, после черты — расчетные.

Note: Above the line are the values of the heat transfer resistance required by the norms, below the line — the calculated ones.

Табл. 3. Основные геометрические характеристики зданий

Table 3. Basic geometric characteristics of buildings

Параметр здания Building parameter	Вариант здания Building option					
Длина, м Length, m	13,6	20,4	61,2	88,4	115,6	115,6
Этажность Number of storeys	2	1	15	24	22	40
Площадь здания, м ² Building area, m ²	549	412	18 544	42 856	51 373	93 405
Площадь наружных ограждающих конструкций, м ² Area of external enclosing structures, m ²	802	729	10 760	22 116	25 638	44 705
Объем здания, м ³ Building volume, m ³	2143	1607	72 320	167 140	200 353	364 279

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

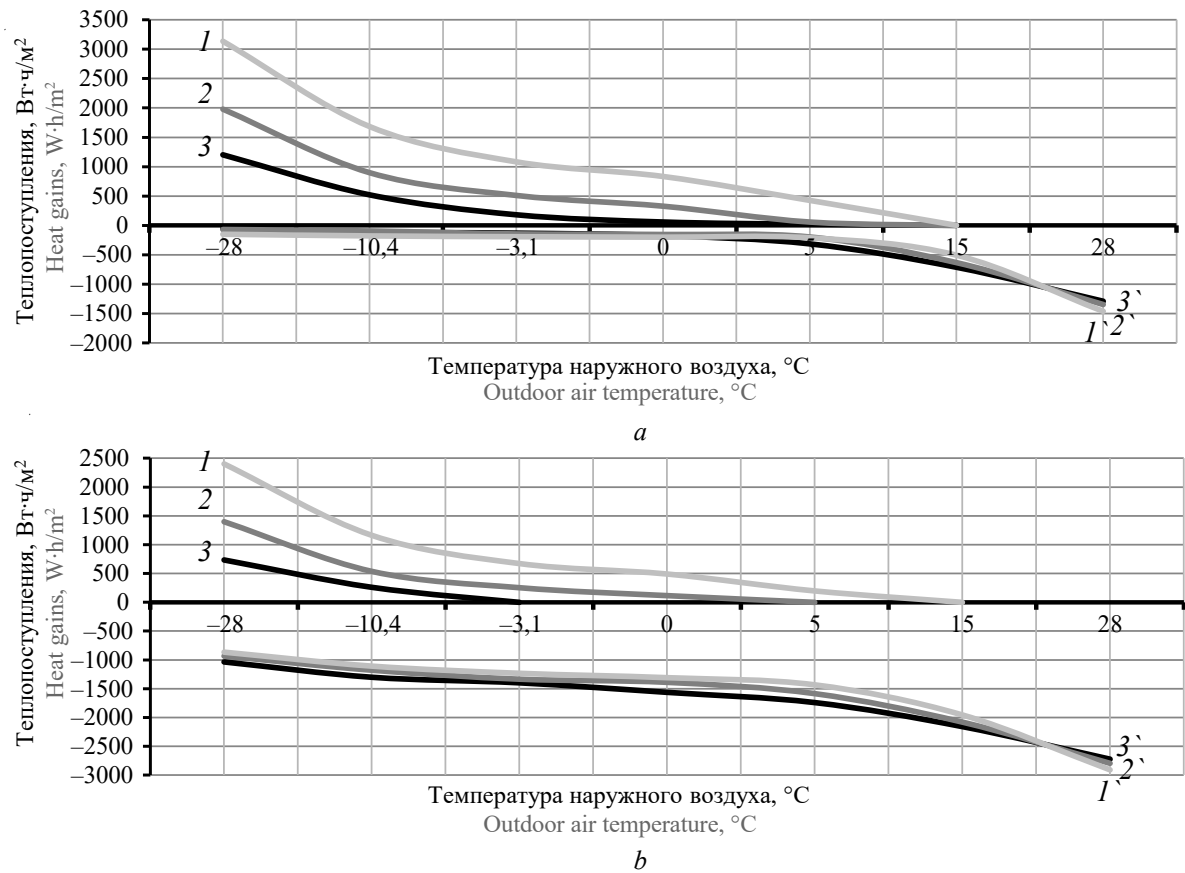
При расчете годовых затрат теплоты и холода учитывались удельные технологические теплопоступления в помещения на 1 м² площади пола в рабочее время, а также проникающая через светопрозрачные ограждающие конструкции солнечная радиация. Очевидно, что чем ниже теплозащита, тем больше потребность здания в тепловой энергии. Величина внутренних теплопоступлений снижает нагрузку на систему отопления в рабочее время. Однако избытки теплопоступлений увеличивают нагрузку на систему кондиционирования воздуха, и чем выше теплозащита, тем больше эта нагрузка. Более низкая теплозащита способствует лучшему оттоку теплоты через наружные ограждающие конструкции здания.

Потребность в машинном охлаждении образуется и в периоды, когда температура наружного воздуха ниже температуры внутреннего воздуха 22 °С и когда выше внутренней. В этот второй период с увеличением теплозащиты падает нагрузка на машинный холод. В Астрахани влияние периода с более низкой

температурой наружного воздуха в формировании нагрузки на машинное охлаждение превалирует и суммарная годовая нагрузка на машинное охлаждение возрастает с увеличением теплозащиты. Увеличение размеров здания приводит к снижению удельной нагрузки на машинное охлаждение.

На рисунке данные о суммарном суточном тепло- и холодопотреблении системами отопления и охлаждения для варианта размеров здания № 4 (табл. 3), приведенные к 1 м² пола, представлены в графическом виде для г. Москвы. Из рисунка видно, что для поддержания принятого температурного режима в одни и те же сутки во всем здании требуется и отопление, и охлаждение.

Оценку энергетически целесообразного уровня теплозащиты следует проводить по общему показателю между теплотой и холодом. Такой величиной является первичная энергия, необходимая для получения в дальнейшем теплоты и холода. В табл. 4 представлены удельные на 1 м² площади пола потребности в первичной энергии на поддержание



Суточное тепло- и холодопотребление системами отопления и охлаждения, кВт·ч, здания в целом при теплопоступлении в помещения: а — 40 Вт/м²; б — 80 Вт/м²; потребление теплоты на отопление помещения с утеплением по вариантам: 1–1'; 2–2'; 3–3'; потребление холода на охлаждение помещения, утепленного по вариантам: 1–1'; 2–2'; 3–3'

Daily heat and cold consumption by heating and cooling systems, kWh, by the building as a whole with heat entering the premises а — 40 W/m²; б — 80 W/m²; heat consumption for space heating with insulation according to option 1–1'; according to option 2–2'; according to option 3–3'; cold consumption for cooling purposes, insulated according to option 1–1'; according to option 2–2'; option 3–3'

Табл. 4. Удельные на 1 м² площади пола потребности в первичной энергии на поддержание заданных тепловых условий в зданиях, кВт·ч/м²
Table 4. Specific primary energy requirements per 1 m² of the floor area needed to maintain the pre-set thermal conditions in buildings, kWh/m²

Уровень теплопоступлений Heat gain	Вариант теплозащиты Heat protection option												Вариант здания 5 Building option 5			Вариант здания 6 Building option 6		
	Вариант здания 1 Building option 1		Вариант здания 2 Building option 2		Вариант здания 3 Building option 3		Вариант здания 4 Building option 4		Вариант здания 5 Building option 5		Вариант здания 6 Building option 6							
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Москва / Moscow																		
0 Вт/м²	134	116	108	112	98,6	93,7	120,6	110,9	104,6	121,4	107,1	104	112	105,4	101	109	103,5	100
40 Вт/м²	214	205	199	189	180,0	175,6	207,3	201,3	196,0	206,7	197,6	195	201	196,5	193	199	194,8	192
80 Вт/м²	307	297	291	272	262,9	258,7	299,2	293,2	287,9	298,6	289	287	293	288,3	285	291	286,7	284
Астрахань / Astrakhan																		
0 Вт/м²	132	122	115	121	113,4	108,6	119,6	114,1	108,1	123,2	115,1	110,7	117	113	108	114	111	107
40 Вт/м²	224	213	207	210	202,3	197,6	208,1	202,5	196,5	214,1	206,1	201,8	208	204	199	205	202	198
80 Вт/м²	310	300	294	299	291,2	286,8	296,5	290,9	284,9	303,7	295,8	291,8	296	292	287	295	291	288
Воркута / Vorkuta																		
0 Вт/м²	120,6	105,45	99,17	110,0	99,95	93,88	105,20	95,21	91,28	108,24	94,98	91,76	101,40	92,49	88,74	98,55	90,85	87,27
40 Вт/м²	173,6	160,48	153,2	166,4	161,97	148,25	159,27	158,24	147,07	163,23	157,46	148,18	157,13	154,2	151,45	163,42	157,20	153,62
80 Вт/м²	243,0	227,11	217,3	236,2	227,61	213,95	225,18	224,31	213,42	229,20	223,81	215,17	223,54	221,2	217,87	229,91	223,69	220,20

заданных тепловых условий в зданиях с различной теплозащитой, которые свидетельствуют о том, что выгодно устраивать теплозащиту с базовыми сопротивлениями теплопередаче в соответствии с СП 50.13330 (вариант 3).

Очевидно, что чем теплозащита меньше, тем теплопотребление на отопление здания больше. Так, при теплозащите по санитарно-гигиеническим условиям (вариант теплозащиты 1) годовая потребность в теплоте здания в 7 раз больше, чем при базовой теплозащите (вариант теплозащиты 3) при тепловыделениях 40 Вт/м² в г. Москве. А в годовом разрезе нагрузка на системы машинного и свободного охлаждения меньше в зданиях с наименьшей теплозащитой (вариант теплозащиты 1) и при меньших теплопоступлениях в помещение. Об увеличении нагрузки на системы охлаждения при усилении теплозащиты писал Ю.А. Табунщиков в работе [22], нам удалось дополнить тезис количественной оценкой этого увеличения в зависимости от различных зданий и районов строительства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рассматриваемых городах по результатам исследования получено, что наиболее выгодным вариантом теплозащиты зданий с энергетической точки зрения является наибольший уровень теплозащиты. Теплопоступления от солнечной радиации создают дополнительную нагрузку на системы охлаждения здания в переходный и теплый периоды года. В холодное время года эти теплопоступления снижают нагрузку на системы отопления. Однако при удельных технологических теплопоступлениях в помещение в рабочее время 40 Вт/м² и выше часты случаи, когда даже в отопительный период необходимо охлаждение здания.

Полученный результат подтверждает экономические расчеты, в которых сравниваются затраты на утеплитель с затратами на энергию для поддержания заданного режима здания. Впрочем, влияние теплозащиты на экономическую составляющую не ограничивается этими двумя показателями затрат. Окончательное решение должно быть за подробным экономическим расчетом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Назаров Р.У. Использование легких конструкций в многоэтажных зданиях, обеспечивающие энергосбережение и теплоустойчивость // Матрица научного познания. 2022. № 5–1. С. 43–50.
2. Нигматов И.И., Джимолов Ф.Д. Проектирование энергоэффективных бесчердачных вентилируемых крыш гражданских зданий // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2021. № 2 (54). С. 25.
3. Крутов А.А., Константинов А.П. Требуемое сопротивление теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций исходя из обеспечения комфортных условий // Жилищное строительство. 2021. № 11. С. 14–20. DOI: 10.31659/0044-4472-2021-11-14-20
4. Асанова Д.В. Энергосберегающий эффект от применения энергоэффективных фасадных систем многоэтажных зданий // Вестник науки Южного Казахстана. 2021. № 2 (14). С. 3–6.
5. Береговой А.М. Вопросы повышения тепловой защиты и энергоактивности малоэтажных зданий // Региональная архитектура и строительство. 2021. № 1 (46). С. 183–187.
6. Ha T.-T., Feuillet V., Waeytens J., Zibouche K., Peiffer L., Garcia Y. et al. Measurement prototype for fast estimation of building wall thermal resistance under controlled and natural environmental conditions // Energy and Buildings. 2022. Vol. 268. P. 112166. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112166
7. Zheng W., Wei F., Su S., Cai J., Wei J., Hu R. Effect of the envelope structure on the indoor thermal environment of low-energy residential building in

- humid subtropical climate: In case of brick-timber vernacular dwelling in China // Environmental Technology & Innovation. 2022. Vol. 28. P. 102884. DOI: 10.1016/j.eti.2022.102884
8. Щипачева Е.В., Шаумаров С.С. Влияние географической широты местности на тепловую инерцию наружных ограждающих конструкций зданий // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2021. № 2. С. 62–71. DOI: 10.15593/24111678/2021.02.08
9. Малышева В.А., Фризен Е.Г., Адигамова З.С. Модернизация фасада существующих зданий в соответствии с теплотехническими нормами // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10. № 4 (35). С. 588–593. DOI: 10.21285/2227-2917-2020-4-588-593
10. Шокиров Р.М. Повышение энергоэффективности зданий в Республике Таджикистан // Инженерный вестник Дона. 2022. № 3 (87). С. 286–297.
11. Фролова А.А., Петров Г.А. Требуемый уровень теплозащиты ограждающих конструкций для общественных зданий в России и европейских странах // Энергосбережение и водоподготовка. 2021. № 3 (131). С. 27–32.
12. Chen S., Zhang G., Xia X., Setunge S., Shi L. A review of internal and external influencing factors on energy efficiency design of buildings // Energy and Buildings. 2020. Vol. 216. P. 109944. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.109944
13. Deng Y., Gou Z., Gui X., Cheng B. Energy consumption characteristics and influential use behaviors in university dormitory buildings in China's

hot summer-cold winter climate region // *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 33. P. 101870. DOI: 10.1016/j.jobbe.2020.101870

14. Economidou M., Todeschi V., Bertoldi P., D'Agostino D., Zangheri P., Castellazzi L. Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings // *Energy and Buildings*. 2020. Vol. 225. P. 110322. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110322

15. Иванова Л.В. Развитие нормативных требований к тепловой защите зданий // *Архитектура и дизайн*. 2020. № 1. С. 33–44. DOI: 10.7256/2585-7789.2020.1.35796

16. Дерина М.А., Семин Г.А. Влияние климатических характеристик на энергетическую эффективность в многоквартирных жилых домах на примере г. Пензы // *Образование и наука в современном мире. Инновации*. 2021. № 2 (33). С. 106–112.

17. Шубин И.Л., Умнякова Н.П., Бутовский И.Н. Четверть века реализации нормирования энергопотребления российских отапливаемых зданий // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2020. № 6 (1030). С. 7–12.

18. Raimundo A.M., Oliveira A.V.M. Analyzing thermal comfort and related costs in buildings under Portuguese temperate climate // *Building*

and Environment. 2022. Vol. 219. P. 109238. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109238

19. Фролова А.А., Лухменев П.И. Энергетическое обоснование выбора системы кондиционирования воздуха для административно-торгового центра // *Строительство: наука и образование*. 2021. Т. 11. № 2. С. 38–45. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.2.3

20. Малявина Е.Г., Фролова А.А. Экономическое обоснование выбора теплозащиты офисных зданий // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2018. № 9 (717). С. 56–65.

21. Малявина Е.Г., Фролова А.А. Влияние климатических особенностей района строительства на экономически выгодный уровень тепловой защиты офисных зданий // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2020. № 11 (743). С. 89–99. DOI: 10.32683/0536-1052-2020-743-11-89-99

22. Табуницков Ю.А. О противоречивости требований к теплозащите зданий в летних и зимних условиях // *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2013. № 3. С. 48–50.

Поступила в редакцию 3 октября 2022 г.

Принята в доработанном виде 29 ноября 2022 г.

Одобрена для публикации 21 декабря 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: Анастасия Анатольевна Фролова — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; доцент кафедры техники и технологии; Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова (МГОТУ); 141074, Московская область, г. Королев, ул. Гагарина, д. 42; РИНЦ ID: 938815, Scopus: 57200089334; FrolovaAA@mgsu.ru;

Павел Игоревич Лухменев — аспирант; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; инженер систем отопления и вентиляции; Инженерное Дело; 127015, г. Москва, ул. Бутырская, д. 62; luhmenev@yandex.ru.

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Nazarov R.U. The use of lightweight structures in multi-storey buildings providing energy saving and heat resistance. *Matrix of Scientific Knowledge*. 2022; 5-1:43-50. (rus.).

2. Nigmatov I.I., Jimolov F.D. Designing energy efficient roofless ventilated roofs of civil buildings. *Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research*. 2021; 2(54):25. (rus.).

3. Krutov A.A., Konstantinov A.P. The required resistance to heat transfer of translucent enclosing structures based on the comfortable conditions provi-

sion. *Housing Construction*. 2021; 11:14-20. DOI: 10.31659/0044-4472-2021-11-14-20 (rus.).

4. Asanova D.V. Energy-saving effect from the use of energy-efficient facade systems of multi-storey buildings. *Bulletin of Science of South Kazakhstan*. 2021; 2(14):3-6. (rus.).

5. Beregovoy A.M. Thermal protection increasing and energy activity of low-rise buildings. *Regional Architecture and Engineering*. 2021; 1(46):183-187. (rus.).

6. Ha T.-T., Feuillet V., Waeytens J., Zibouche K., Peiffer L., Garcia Y. et al. Measurement prototype for fast estimation of building wall thermal resistance under

controlled and natural environmental conditions. *Energy and Buildings*. 2022; 268:112166. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112166

7. Zheng W., Wei F., Su S., Cai J., Wei J., Hu R. Effect of the envelope structure on the indoor thermal environment of low-energy residential building in humid subtropical climate: In case of brick–timber vernacular dwelling in China. *Environmental Technology & Innovation*. 2022; 28:102884. DOI: 10.1016/j.eti.2022.102884

8. Shchipacheva E.V., Shaumarov S.S. Influence of the geographical latitude of the area on the thermal inertia of the external enclosing structures of buildings. *Transport. Transport Facilities. Ecology*. 2021; 2: 62-71. DOI: 10.15593/24111678/2021.02.08 (rus.).

9. Malysheva V.A., Frizen E.G., Adigamova Z.S. Facade renovation of existing buildings according to thermo technical standards. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real Estate*. 2020; 10(4):(35):588-593. DOI: 10.21285/2227-2917-2020-4-588-593 (rus.).

10. Shokirov R.M. Improving the energy efficiency of buildings in the republic of Tajikistan. *Engineering journal of Don*. 2022; 3(87):286-297. (rus.).

11. Frolova A.A., Petrov G.A. Required level of heat protection of enclosing constructions for public buildings in Russia and European countries. *Energy Saving and Water Treatment*. 2021; 3(131):27-32. (rus.).

12. Chen S., Zhang G., Xia X., Setunge S., Shi L. A review of internal and external influencing factors on energy efficiency design of buildings. *Energy and Buildings*. 2020; 216:109944. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.109944

13. Deng Y., Gou Z., Gui X., Cheng B. Energy consumption characteristics and influential use behaviors in university dormitory buildings in China's hot summer-cold winter climate region. *Journal of Building Engineering*. 2021; 33:101870. DOI: 10.1016/j.job.2020.101870

Received October 3, 2022.

Adopted in revised form on November 29, 2022.

Approved for publication on December 21, 2022.

BIONOTES: Anastasiya A. Frolova — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ventilation and Heat and Gas Supply; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Engineering and Technology; **LEONOV Moscow Region University of Technology**; 42 Gagarina st., Moscow region, Korolev, 141070, Russian Federation; ID RSCI: 938815, Scopus: 57200089334; FrolovaAA@mgsu.ru;

Pavel I. Lukhmenev — postgraduate; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Engineer of heating and ventilation systems; **Engineering Delo**; 62 Butyrskaya st., 127015, Moscow, Russian Federation; lukhmenev@yandex.ru.

All authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

Conflict of the interests: the authors declare no conflict of interest.

14. Economidou M., Todeschi V., Bertoldi P., D'Agostino D., Zangheri P., Castellazzi L. Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings. *Energy and Buildings*. 2020; 225:110322. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110322

15. Ivanova L.V. Evolution of regulations for thermal protection of buildings. *Architecture and Design*. 2020; 1:33-44. DOI: 10.7256/2585-7789.2020.1.35796 (rus.).

16. Derina M.A., Semina G.A. Influence of climatic characteristics on energy efficiency in multi-apartment residential buildings on the example of Penza. *Education and Science in the Modern World. Innovation*. 2021; 2(33):106-112. (rus.).

17. Choubin I.L., Umnyakova N.P., Butovsky I.N. Quarter-century of regulation of energy consumption of Russian heated buildings. *BST: Building Machinery Bulletin*. 2020; 6(1030):7-12. (rus.).

18. Raimundo A.M., Oliveira A.V.M. Analyzing thermal comfort and related costs in buildings under Portuguese temperate climate. *Building and Environment*. 2022; 219:109238. DOI: 10.1016/j.builenv.2022.109238

19. Frolova A.A., Lukhmenev P.I. Energy-focused substantiation of the choice of an air conditioning system for an office and shopping building. *Construction: Science and Education*. 2021; 11(2):38-45. (rus.).

20. Malyavina E.G., Frolova A.A. Economic justification of the choice of the thermal protection of office buildings. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2018; 9(717):56-65. (rus.).

21. Malyavina E.G., Frolova A.A. The influence climate features of the construction area on the economically favorable level thermal protection in office buildings. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2020; 11(743):89-99. DOI: 10.32683/0536-1052-2020-743-11-89-99 (rus.).

22. Tabunschikov Yu.A. About contradictions of requirements for thermal protection of buildings in summer and winter. *AVOK*. 2013; 3:48-55. (rus.).

Формирование модели капитальных затрат в реалиях цифровизации строительства

Аркадий Николаевич Ларионов¹, Вячеслав Владимирович Соловьев¹,
Александр Алексеевич Морозов²

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

² *ООО «АПМ»; г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Цель исследования заключается в изучении характера формирования методов и средств цифровизации в строительстве. Выявленные значительные противоречия между государственной политикой цифровизации и практикой освоения цифровых средств в сфере строительно-инвестиционной деятельности препятствуют качественной реализации отдельных задач. Особый интерес представляет расчет капитальных затрат на различных стадиях осуществления инвестиционного проекта.

Материалы и методы. Методические подходы в решении проблем цифровизации основаны на выделении подсистемы «Ценообразование» в информационной модели проекта. На базе данной подсистемы рассмотрены ключевые задачи, стоящие перед органами государственного регулирования в ценообразовании и подрядчиками в строительной отрасли, реализующими собственные варианты цифровизации. Несоответствие интересов разных участников строительно-инвестиционных проектов и отличия в стратегии информатизации на предыдущих этапах значительно осложняют поиск решения, в равной степени устраивающего и государство, и бизнес.

Результаты. Выявлена необходимость разработки единых методических подходов к построению архитектуры информационного моделирования на государственном уровне с учетом имеющейся практики определения стоимости строительства при управлении проектами. Для этого сформирована логическая схема подсистемы «Ценообразование» в рамках технологий информационного моделирования. Информация о стоимости строительства должна быть доступной в равной мере проектным организациям, техническому заказчику, управляющему проектом, и подрядным строительным организациям.

Выводы. Установлено несоответствие государственных подходов к определению сметной стоимости строительства и практики управления стоимостью на этапах реализации строительных проектов. Массовый переход к информационному моделированию невозможен без принятия единых методических решений в части стоимостных расчетов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цифровизация, сметная стоимость, программное обеспечение, строительство, затраты, цифровая модель, ценообразование

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ларионов А.Н., Соловьев В.В., Морозов А.А. Формирование модели капитальных затрат в реалиях цифровизации строительства // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 1. С. 91–101. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1. 91-101

Автор, ответственный за переписку: Вячеслав Владимирович Соловьев, solovevvv@mgsu.ru.

Development of a capital expenditure model in the context of construction digitalization

Arkadij N. Larionov¹, Vyacheslav V. Solovev¹, Alexander A. Morozov²

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

² *LLC “APM”; Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The purpose of this research project is to study the development of construction digitalization methods and means. Substantial discrepancies between the state digitalization policy and the practice of mastering digital instruments in the course of construction and investment activities hinder the high-quality implementation of certain tasks. Of particular interest is the problem of calculating capital expenditures at various stages of implementation of an investment project.

Materials and methods. Methodological approaches to digitalization problems are based on the pricing subsystem extracted from the information model of a project. This subsystem is used to address the main pricing tasks pursued by the government authorities and construction industry contractors implementing their own digitalization options. Conflicting interests of different participants in construction and investment projects, as well as the variance in the informatisation stra-

tegy, implemented at the previous stages, substantially complicate the search for a solution that equally satisfies the state and the business community.

Results. The authors have identified the need to devise consistent state-level methodological approaches to developing information modelling architecture, taking into account the current practice of construction cost budgeting in the course of project management. Towards this end, the logical structure of the "Pricing" subsystem was developed using the information modelling technologies. Design companies, technical clients, project managers, and construction contractors must have equal rights to access and handle construction cost data.

Conclusions. The authors have found a discrepancy between state approaches to construction project budgeting and cost management practices at the stages of construction project implementation. No large-scale transition to information modelling is feasible without the adoption of unified methodological solutions in terms of cost calculations.

KEYWORDS: digitalization, budgeted cost, software, construction, costs, digital model, pricing

FOR CITATION: Larionov A.N., Solovev V.V., Morozov A.A. Development of a capital expenditure model in the context of construction digitalization. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(1):91-101. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.91-101 (rus.).

Corresponding author: Vyacheslav V. Solovev, solovevvv@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Эволюция проблематики оценки затрат строительных проектов получила новые возможности в последние годы: наращивание темпов цифровизации экономики выполняет роль своеобразного драйвера в развитии инженерно-экономических процессов. Внедрение и освоение новых информационных технологий в сфере прикладной экономики в строительстве носит нестабильный характер, совмещающая в себе как естественное использование цифровых инноваций, так и директивное ускоренное включение цифровых методов в практику. Первый «естественный» вариант в нашей стране наглядно представлен длительной практикой применения участниками строительной отрасли программных продуктов и соответствующей им методологии по управлению проектами, расчету показателей экономической эффективности, документообороту, проектированию, ценообразованию. В строительных и проектных организациях, управляющих компаниях, у инвесторов, консультантов и ученых имеется достаточный опыт использования цифрового инструментария при решении профильных задач. Насыщение данного сегмента информационного рынка происходит постепенно, на конкурентной основе и подвержено действию саморегулирующих факторов — эффективные средства вытесняют морально устаревающие, внося вклад в совершенствование информационной среды строительной отрасли. Как отмечается в ряде исследований [1, 2], эволюция цифровых технологий являлась функцией количественного обеспечения рабочих мест аппаратными средствами, т.е. компьютерами. По мере насыщения рынка техникой критерии развития цифровых инструментов сместились в сторону интеграции смежных информационных сред, что способствует образованию нового качества цифровизации — синергии в результатах информационного процесса. Например, уточнение результатов инженерных изысканий или обнаружение ошибки в них не должно запускать заново всю систему проектирования, расчета затрат, экспертизы проекта. Опыт решения такой проблемы хорошо освоен

за рубежом [3, 4]. Интеграция информационных сред позволяет учесть неточность в порядке заложенных в систему допущений и превратить данный инцидент в рутинную корректировку общей цифровой модели [5, 6]. В общетеоретическом плане этот тип цифровизации в строительстве хорошо описывается теорией волнового технологического развития, нашедшей отражение в работах С. Глазьева [7].

Второй «директивный» вариант внедрения инноваций в информационном обеспечении строительства связан исключительно с деятельностью государственных органов [8–10]. Проявляется это отдельными фактами закрепления в правовом поле различных организационных схем, условий реализации строительных проектов. Сутью данных действий является скорее принуждение, чем побуждение к деятельности. В частности, ФАУ «Главгосэкспертиза России» перешла на рассмотрение проектной документации и результатов инженерных изысканий в электронном виде для большинства категорий проектов. Это пример, когда был подытожен естественный процесс цифровизации проектных работ.

Актуальность указанной темы определяется вектором политики государства в сфере цифровизации строительства. В соответствии со Стратегическим направлением в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года, утвержденным Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27.12.2021 № 3883-р, в 2022 г. планируется переход на ресурсно-индексный метод составления смет как способ повышения точности сметной стоимости строительства. Вместе с тем расширяется система мониторинга цен строительных ресурсов с использованием средств информатизации.

5 марта 2021 г. Постановлением Правительства РФ № 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ве-

дение информационной модели объекта капитального строительства» было установлено, что с 1 января 2022 г. формирование и ведение информационной модели (ИМ) объекта капитального строительства (ОКС) становится обязательным для заказчика, застройщика, технического заказчика, эксплуатирующей организации, если на этот объект выделены средства бюджетов бюджетной системы Российской Федерации. Значимость данного документа для строительства определяется необходимостью институционального изменения проектной сферы. При этом ни технологического, ни кадрового обеспечения процесса полного внедрения ИМ на госзаказе по состоянию на 2021 г. не имелось. Очевидно, что в таких условиях можно ожидать либо формального провала выполнения постановления, либо имитационного поведения при реализации проектов, что равнозначно провалу. Акцентируя внимание на тематике настоящего исследования, следует упомянуть утвержденную приказом Минстроя России от 24.12.2020 № 854/пр Методику определения стоимости работ по подготовке проектной документации, содержащей материалы в форме информационной модели. Документ отражает государственную позицию в ценообразовании проектных работ. При этом детальное рассмотрение содержания Методики позволяет сделать вывод о том, что учтенный в ней состав технологий информационного моделирования (ТИМ) неполноценен и не соответствует профессиональным стратегиям развития ТИМ в отечественном строительстве [11]. При массовом развертывании ТИМ-технологий в проектной среде неизбежно возникнет потребность в доработке и разъяснении положений этой методики.

Список неудач государства в области цифровизации можно дополнить и федеральной государственной информационной системой ценообразования в строительстве, заявленной, но не реализованной в планируемые сроки.

Обзор результатов внедрения цифровизации в строительстве выявляет раздвоение процессов цифровых технологий, причем раздвоение не диалектическое, а конфликтное, порождающее дополнительные трудности как у федеральных структур, ответственных за формирование единой методологии, так и у профессионального сообщества в инвестиционно-строительной сфере. Очевидно, что конструктивный выход из сложившейся ситуации не может быть односторонним. В этой связи авторами сформирована гипотеза о необходимости решения частных задач информационного моделирования — конструирования элементов моделей, построения графиков, планирования эксплуатационной фазы, расчета затрат и других, после чего станет возможным сформулировать комплекс логических схем для совершенствования ТИМ, как это рассмотрено в работе [12]. Данная схема решения представляет собой новую модель в сфере инфор-

матизации и управления информацией в реализации строительных контрактов.

Подтверждение указанной гипотезы определяет цель исследования — создание логических схем для их последующей реализации в виде программных продуктов.

Для достижения цели требуется:

- проанализировать текущие достижения как позиции государства, формализованной в рамках нормативно-правовой системы, так и производственный опыт в избранном сегменте ТИМ [13, 14];
- определить характерные зоны несовместимости технологий;
- предложить такие подходы к интеграции ТИМ, которые не приведут к разрушению положительного опыта и будут обладать положительной экономической эффективностью.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Находясь в условиях противоречий государственной методологии цифровизации и опыта хозяйствующих субъектов, следует признать, что постановка задач и нахождение правильных логических схем решения должны производиться не на глобальной системе ТИМ как на объекте исследования, а путем анализа отдельных функциональных частей системы. Последующее объединение частных функциональных решений даст возможность выработать цельную архитектуру информационного обеспечения строительной отрасли. В этой связи, действуя в соответствии со своими профессиональными интересами и опытом, авторы данной статьи в качестве исследуемой части (подсистемы) ТИМ рассматривают комплекс вопросов, относящихся к определению величины капитальных затрат на разных этапах реализации проекта.

Проблема обеспечения точности затрат на строительство сосуществует с процессами разработки предпроектной, проектной документации, а также с фазой реализации проектов значительное время. В работах ряда авторов отмечается необходимость совершенствования как нормативной базы ценообразования [15], так и повышения качества проектной документации [16]. И в том, и в другом случае нормативная и проектная составляющие определялись как основополагающая составляющая в системе реализации каждого проекта. Фактическая себестоимость строительства, формируемая в результате деятельности подрядчика, считалась ведомым экономическим фактором по отношению к обобщенной системе производственных и сметных нормативов. В настоящее время такая тенденция сохраняет свое значение, мало того, она только упрочила свои позиции: согласно действующей редакции Методических рекомендаций по применению федеральных единичных расценок на строительные, специальные строительные, ремонтно-строительные, монтаж оборудования и пусконаладочные работы, утверж-

денных приказом Минстроя России от 04.09.2019 № 519/пр, ресурсный набор и организационная схема, учтенная расценками, усреднена и обобщена. Это означает, что многообразие форм и методов реализации строительных контрактов, приводящее к дисперсии показателей себестоимости работ, подразумевается, но не учитывается непосредственным путем при определении сметной стоимости в составе проекта. В таблице отражен характер современного процесса информатизации при управлении стоимостью инвестиционных проектов.

Параллельно с реформированием системы ценообразования, методическое обеспечение которой послужило для авторов статьи базисом в оценке соответствующих сторон ТИМ [17, 18], активное развитие получали процессы расчета и управления затратами в самих подрядных организациях. Поскольку подавляющая часть подрядчиков в нашей стране — это организации негосударственных форм собственности, проблемы планирования производства, подготовки к торгам, прогнозирования и учета

затрат решались самостоятельным порядком в соответствии с законами рынка информационных услуг [19]. Различны и задачи, стоящие перед государством и подрядчиком. Функции Минстроя России сконцентрированы на обеспечении правильности формирования затрат в сметной документации. Для этого разрабатывается и актуализируется система нормативов, организуется государственная экспертиза сметной документации в составе проектов. Сметная стоимость, достоверность которой подтверждена ФАУ «Главгосэкспертиза России», должна являться основой для формирования начальной (максимальной) цены контракта и определения лимитов финансирования по проекту.

Такая логически стройная система, имеющая аналоги за рубежом [20, 21], однако имеет ряд значительных упущений при рассмотрении всего хода инвестиционно-строительного процесса. При подготовке ofert участниками конкурсных торгов осуществляется прогнозирование затрат на реализацию проекта, а после заключения контракта

Действующая схема информационного поля затратной части проекта

The current breakdown of the project cost data

Показатели Indicators	Этапы реализации строительного проекта Stages of construction project implementation		
	Предпроектный Pre-project	Проектирование Design development	Строительство Construction
Инструментарий A set of tools	Офисный пакет или консоль к сметной программе An office suite or a console for the project budgeting software	Сметные программы Project budgeting software	Программы управления проектами Project management software
Функции Functions	Расчет стоимости по укрупненным показателям или проектам-аналогам Cost analysis made using consolidated indicators or similar projects	Формирование сметной документации Development of project budget documents	Планирование освоения сметной стоимости и расчет фактических (прогнозных) затрат Planned budget disbursement and calculation of actual (projected) costs
Точность расчетов, % Accuracy of calculations, %	15–25	5	1–3
Исходные данные Initial data	Нормативная база, объекты-аналоги Regulatory framework, similar facilities	Нормативная база Regulatory framework	Сметная документация, фирменные нормативы Project budget documents, corporate standards
Способ формирования Development method	Заново по укрупненной номенклатуре Anew using consolidated positions	Заново по элементам затрат Anew using cost elements	Заново или путем экспорта из сметных программ Anew or by means of exportation from the project budgeting software

выполняется управление проектом, включающее и функцию управления стоимостью. Данная деятельность — неотъемлемая составляющая аспекта качества в управлении строительным производством [22]. В условиях цифровизации расчет стоимости оферты — первая фаза ИМ проекта, и все дальнейшие действия проводятся на уже сформированной структуре работ и затрат проекта. Основу проблемы составляет тот факт, что формирование стоимости оферты для подрядчика по усредненной проектной стоимости лишено всякого смысла. Соответственно, при создании ИМ на стадии торгов (если она вообще присутствует) в ней формируется стоимость, отличающаяся от проектной своей величиной, используемыми нормативами и методологией. Диапазон методов и средств прогнозирования затрат в строительных организациях законодательно не ограничивается, а влияние рынка информационных технологий обеспечивает богатое разнообразие предлагаемых методов [23].

На рассмотрении системного подхода при построении ИМ строительства сфокусирована методология иерархий систем. Становление информационных технологий, в том числе ТИМ, основывалось на базовых принципах генезиса информационных технологий, в числе которых — кумулятивный эффект. Это означает, что нижние уровни иерархических систем не могут дискредитировать содержание и функции вышестоящих уровней. Применительно к ТИМ — расчет затрат по проекту не должен приводить к отмене принципиальных проектных решений, а может только корректировать их частные параметры. Этот постулат явствует из трудов многих специалистов в области иерархии систем. В частности, чертой иерархической сложности, согласно [24], является «генезис информационных технологий как расширение спектра используемых человеком информационных технологий». В результате имеются практически непреодолимые препятствия для формирования двух ИМ: проектной и внутрифирменной, построенных на различной методологии. Все это ставит перед строительством задачу интеграции систем определения стоимости.

В целях создания предпосылок для строительных организаций к интенсификации внедрения технологий информационного моделирования стоимости объектов следует решить ряд задач:

1. Идентифицировать проблемы в области ценообразования и сметного нормирования на государственном уровне и возможность их решения в цифровом пространстве.
2. Систематизировать проблемы интеграции систем определения и управления стоимостью в цифровом формате на государственном уровне и в строительных организациях.
3. Разработать рекомендации по интенсификации внедрения цифровых технологий информаци-

онного моделирования стоимости объектов в деятельности строительных организаций.

Каждая из задач предполагает учет не только внешних признаков проблем, но и той материально-технической базы и информационного обеспечения, на основе которого основана работа по формированию и управлению стоимостью.

Государство, как основной регулятор строительной отрасли, сейчас стоит перед кругом проблем, которые можно свести к четырем основным направлениям:

- обеспечение предпроектного этапа;
- актуализация базы государственных элементных сметных норм (ГЭСН);
- интеграция отраслевых сметно-нормативных баз в единую систему ценообразования;
- мониторинг рыночных цен строительных ресурсов.

Предпроектный этап является наименее обеспеченным как в методическом, так и в нормативном плане. На стадии проектирования действует Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию», результатом чего служит однотипный состав проектной документации для всех инвестиционно-строительных проектов. Предпроектная стадия, на которой формируется бизнес-план, технико-экономическое обоснование или обоснование инвестиций, практически не зарегулирована. Имеются отдельные нормативно-правовые акты в отраслях строительства, существуют требования по обоснованию размера потребности в инвестициях при планировании бюджетов, нарабатывается практика рассмотрения материалов предынвестиционной стадии в ФАУ «Главгосэкспертиза России». Однако единой цели в этой сфере не существует и утверждать, что строительная отрасль действует единообразно при расчете затрат проекта на предпроектной стадии, нельзя. Целевое назначение предпринимаемых мер по установлению правил на этой стадии далеко не всегда связано с внедрением цифровизации, что подробно рассматривалось в работе авторов [16]. Неверное определение инвестиционных затрат — один из главных рисков жилищного строительства, реализуемого на основах соинвестирования [22]. Такие значительные проблемы пока не имеют единого «цифрового» решения, заключенного в ИМ. Положительный пример — корпорация «Росатом», запустившая систему поэтапной оценки стоимости строительства. Но это лишь локальное отраслевое решение.

Вопросы актуализации базы сметных норм и интеграции отраслевых сегментов ценообразования органически связаны, поскольку наполнение федеральных, отраслевых и территориальных сборников происходит по единой методологии. Принципиальная задача — унификация всего множества

нормативов, которые сейчас доступны фрагментарно, в зависимости от загрузки в сметные программы.

Самый динамично развивающийся сегмент ценообразования в настоящее время — это мониторинг цен строительных ресурсов. Потенциал для цифровизации этого процесса значителен. Размер ежегодного массива данных о стоимости ресурсов определяется выражением:

$$N = (Q_{\text{см}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{зн}} + Q_{\text{п}})(N_{\text{с}}N_{\text{р}} + N'_{\text{с}})4,$$

где $Q_{\text{см}}$ — количество строительных материалов, изделий, конструкций и оборудования в классификаторе строительных ресурсов; $Q_{\text{м}}$ — количество строительных и транспортных машин в классификаторе строительных ресурсов; $Q_{\text{зн}}$ — число наблюдаемых показателей оплаты труда; $Q_{\text{п}}$ — число показателей затрат на перевозку грузов для строительства; $N_{\text{с}}$ — число субъектов РФ с делением на ценовые районы; $N_{\text{р}}$ — среднее число ценовых районов в субъекте; $N'_{\text{с}}$ — число субъектов РФ без деления на ценовые районы; 4 — число кварталов в году.

При количестве показателей Q более 100 тысяч годовой массив данных превышает миллион единиц информации. В настоящее время организуется рабо-

та по сбору информации о стоимости ресурсов с помощью программного обеспечения.

Рациональным техническим решением проблемы может стать интеграция программных средств расчета сметной стоимости при проектировании и сбора данных о текущей стоимости строительных ресурсов, поскольку и те, и другие задачи находятся в ведении одних заинтересованных сторон ценообразования — технического заказчика, проектной и подрядной строительной организации (рис. 1).

Необходимость формирования единой информационной базы по стоимости на предпроектном этапе реализована государством отчасти в системе нормативов цены строительства, отчасти — в базе проектной документации повторного применения. Охват вопросов предпроектного определения затрат также является задачей цифровизации, в этой связи следует ожидать необходимости в объединении отраслевых либо фирменных баз проектов-аналогов с уже упомянутыми государственными источниками.

С целью решения поставленных задач авторами предлагается изменить представление об инвестиционных затратах, определяемых на предпроектном этапе, как о предельных. В этом случае ТИМ позволят соединить фирменные модели с моделями, построенными на основе федеральной нормативной

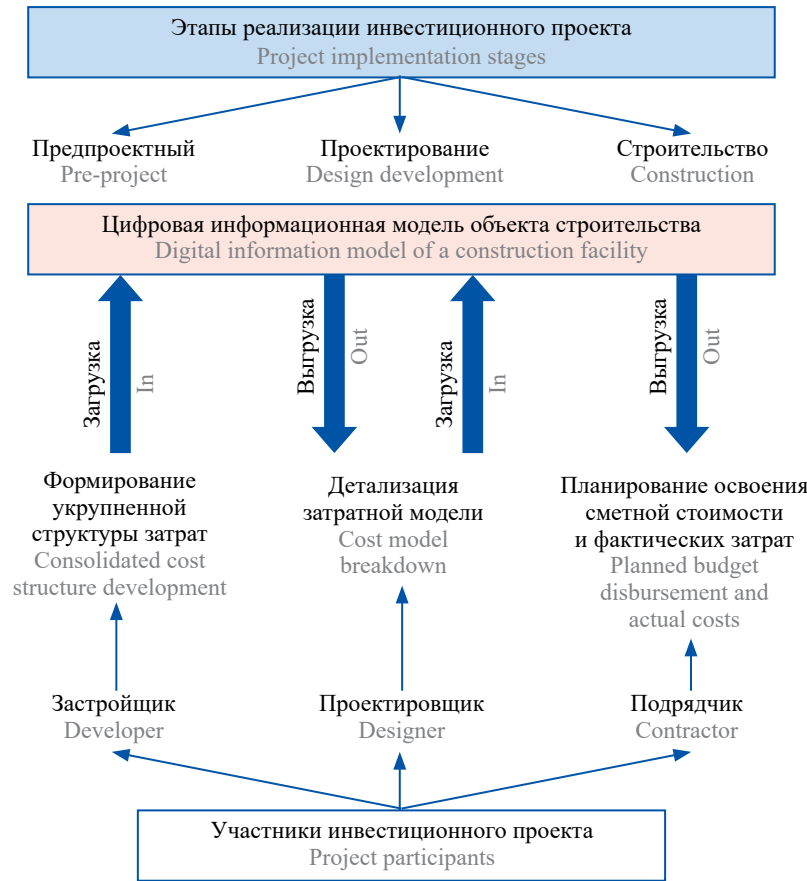


Рис. 1. Интегрированная модель формирования стоимости

Fig. 1. Integrated cost model

базы, бесконфликтно. Разница между стоимостью проекта в федеральных сметных нормативах на всех этапах проектирования и разница между федеральными и фирменными нормативами получают одинаковый статус — статус естественного уточнения стоимости в ходе развития инвестиционного проекта. Дополнительное использование информационных источников, не включенных в федеральный реестр сметных нормативов, должно расширить возможности ТИМ не только в «частных» инвестиционных проектах, но и при реализации госконтрактов.

Принципиальная новизна этого предложения формируется не только синергетикой решений в рамках ТИМ, но в значительной степени созданием условного субъекта — потребителя ТИМ. Субъекта, не определяемого однозначно как «бизнес» или «государственная структура», а субъекта, профессионально заинтересованного в качестве стоимостных расчетов при информационном моделировании. Предложения новых программных продуктов, как и управленческих, и методических решений, происходят регулярно, что в совокупности с ТИМ-технологиями создает непрерывный инновационный процесс, однако все приложения этого процесса сфокусированы на частичном восприятии хозяйствующего субъекта. К примеру, все федеральные методики по ценообразованию ориентированы исключительно на субъекты, реализующие госзаказ. При этом хозяйственные, экономические процессы схожи у всех субъектов инвестиционно-строительных проектов. Также идентичны и потребности в достоверности информации о сметной стоимости строительства.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Принципиальными решениями, удовлетворяющими поставленные цели, возможно считать подчинение всей деятельности сообщества про-

граммистов и разработчиков прикладных программ для строительства единой цели — формирования единого инструмента в рамках технологии информационного моделирования. Для этого требуется разработка единых методических подходов к построению архитектуры ТИМ на государственном уровне с учетом применимости и конкурентоспособности в производственной среде. В таком случае удастся преодолеть существующую практику расчета стоимости строительства в сметной программе с последующим импортом в систему календарного планирования. Поскольку инструментарий календарного планирования сохранит свои позиции на рынке подрядной строительной и проектной деятельности, и в дальнейшем адаптация программных продуктов календарного планирования к единой государственной методологии ценообразования является необходимостью, обусловленной следующим витком конкуренции в этой сфере.

Развитие методических решений в области формирования затратной части проектов и последующего управления стоимостью привели авторов к созданию логической основы, определяющей дальнейшие действия федеральных органов и профессионального сообщества (прежде всего, НОТИМ) в сфере построения подсистемы «Ценообразование» в составе общей идеологии информационного моделирования (рис. 2).

Очевидно, что реализация задач формирования стоимости строительных контрактов с государственным участием и контрактов, реализуемых только за счет частных инвестиций, значительно отличается. Предложения, представленные в статье, относятся, прежде всего, к государственным контрактам, где необходимо использование сметных нормативов, включенных в федеральный реестр сметных нормативов. Ценообразование при «частных» инвестициях в некоторой мере проще,

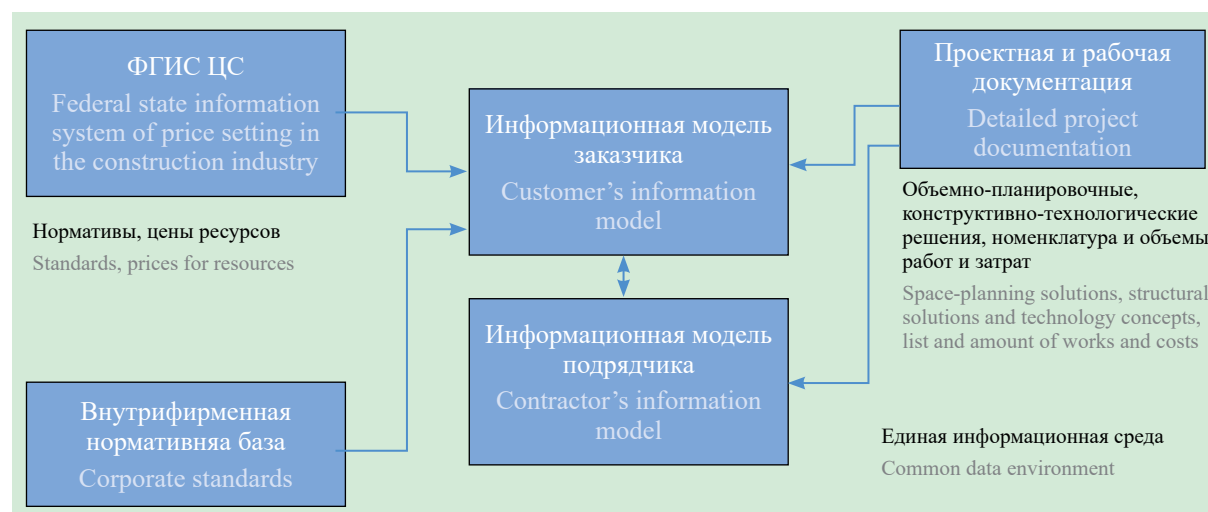


Рис. 2. Логическая схема предлагаемой подсистемы «Ценообразование» в составе ТИМ

Fig. 2. The logical structure of the proposed Pricing subsystem as part of BIM

во всяком случае, предлагаемая схема может быть упрощена.

Вместе с тем авторами подчеркивается необходимость решения в первую очередь сложных задач на государственном уровне и на уровне профессионального сообщества. Это позволит упредить практические рыночные решения имеющихся проблем и избежать потенциальных конфликтов между государством и бизнесом в методических вопросах формирования цены на строительную продукцию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотренный в статье характер существующих методов и средств формирования сметной стоимости обнаруживает несовместимость подходов государственного ценообразования и задач управления стоимостью при реализации коммерческих строительно-инвестиционных проектов. В эпоху информатизации строительства посредством внедрения различных программных продуктов (сметных программ, программ календарного планирования и др.) не стояла столь остро проблема обеспечения преемственности расчетов стоимости строительства на всех стадиях инвестиционного проекта: каждый из участников имел возможность «вручную» переносить информацию в применяемую программную среду.

Цифровизация отрасли, выразившаяся во внедрении ТИМ, обуславливает единую цепочку расчета стоимости проекта и управления ей в контексте одной информационной модели — от инвестиционного замысла до стадии ликвидации объекта. Рассмотренные проблемы касаются расчетов величины капитальных затрат, эксплуатационные же затраты имеют в своей основе иную методологию и нормативы. В этой связи авторами оставлен без внимания вопрос расчета затрат на стадии эксплуатации объекта, требующий отдельных исследований.

Результаты исследования могут применяться при реализации положений Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период

до 2030 года с прогнозом до 2035 года. Основная задача стратегии в сфере цифровизации строительства — «создание условий для взаимодействия всех органов (организаций) экспертизы, участников инвестиционно-строительных процессов на базе единой цифровой среды, в частности, обеспечение возможности работы с информационными моделями, с библиотеками, базами данных, классификаторами, реестрами с использованием элементов интеллектуализации, цифровых ассистентов эксперта и других цифровых инструментов».

Ключевым направлением развития методов определения затрат на реализацию строительных проектов с применением ТИМ следует считать формализацию отдельной подсистемы ТИМ «Ценообразование» с включением ее в государственную методологию ценообразования и одновременной интеграцией с наиболее распространенными программными средствами управления проектами. Такой подход на перспективу откроет возможность для полностью прозрачного, единообразного процесса определения затрат на строительство.

Положениями научной новизны, сформулированными авторами в исследовании, являются:

- предложение организации информационной модели в рамках ТИМ как равнодоступной рабочей среды для всех участников инвестиционно-строительного проекта в дополнение к имеющемуся технологическому внутреннему устройству ТИМ;
- придание равного статуса расхождениям сметной стоимости в связи с различными причинами — как при изменении базы сметных норм, так и при переходе к следующему этапу реализации проекта;
- принятие единого образа участника строительной деятельности как субъекта, обладающего общностью экономико-организационных свойств, вне зависимости от принадлежности и источника инвестиций. Именно такой субъект представляется основным участником информационной подсистемы «Ценообразование» в технологиях информационного моделирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аверина И.С. Эволюция феномена «Цифровая экономика» // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. 2021. № 1. С. 3–9. DOI: 10.18101/2304-4446-2021-1-3-9
2. Крылова О.В. К вопросу внедрения современных организационных структур управления проектами в области строительства // Инновации и инвестиции. 2021. № 3. С. 277–279.
3. Charehzehi A., Chai C., Md Yusof A., Chong H., Loo S. Building information modeling in construction conflict management // International Journal of

- Engineering Business Management. 2017. Vol. 9. P. 184797901774625. DOI: 10.1177/1847979017746257
4. Zhang Y., Yin D., Zhu Y. Method for Construction Progress Measurement for EPC Oil and Gas Pipeline Projects // Journal of Oil and Gas Technology. 2019. Vol. 41. Issue 06. Pp. 130–132. DOI: 10.12677/jogt.2019.416110
5. Бардаков А.А., Корнилов Д.А. Развитие процессов современной организации на основе информационных технологий // Управление и экономика: исследования и разработки. 2021. С. 12–34.

6. Каменчуков А.В. Особенности проектирования автомобильных дорог в системах автоматизации проектирования // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2017. № 1. С. 43–47.

7. Глазьев С.Ю. Современная теория длинных волн в развитии экономики // Экономическая наука современной России. 2012. № 2 (57). С. 27–42.

8. Корчагин А.П. Проблемы и перспективы разработки сметных нормативов в строительстве // Финансовые аспекты структурных преобразований экономики. 2019. № 5. С. 83–90.

9. Garcia-Macia D. Labor costs and corporate investment in Italy // IMF Working Papers. 2020. Vol. 20. Issue 38. DOI: 10.5089/9781513529721.001

10. Jaiswal A. An overview of Building Information Modeling (BIM) & Construction of 4D BIM Model // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 2021. Vol. 9. Issue VI. Pp. 3754–3758. DOI: 10.22214/ijraset.2021.35788

11. Гинзбург А.В. Технологии информационного моделирования жизненного цикла объекта капитального строительства // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования : сб. докл. Первой Национальной конф. 2020. С. 936–939.

12. Алешина И.А., Лямцева И.Н. Повышение эффективности деятельности строительных предприятий в результате внедрения BIM-технологий // Финансовая экономика. 2021. № 1. С. 118–121.

13. Изотова А.Г., Литвинова Н.А. Практические рекомендации по трансформации строительной отрасли в условиях цифровизации // Экономика и бизнес: теория и практика. 2021. № 1–1 (71). С. 133–135. DOI: 10.24411/2411-0450-2021-1030

14. Москвичев М.А. Цифровизация строительной отрасли в РФ // Современные исследования как драйвер роста экономики и социальной сферы : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. 2021. С. 26–32. DOI: 10.46916/20022021-2-978-5-00174-148-0

15. Соловьев В.В., Корчагин А.П. Актуальные вопросы совершенствования системы ценообразования в строительстве в переходном периоде // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 4. С. 605–616. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.4.605-616

16. Соловьев В.В., Корчагин А.П., Абу-Хайдар С.Б. Направления актуализации сметных норм

в транспортном строительстве // Мир транспорта. 2018. Т. 16. № 2 (75). С. 116–127.

17. Le H.T. Blockchain for Building Information Modeling in construction industry // 1st Van Lang International Conference on Heritage and Technology Conference Proceeding, 2021: VanLang-HeriTech. 2021. DOI: 10.1063/5.0067158

18. Vanjari P.B. A Review of building information modelling for construction management // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 2020. Vol. 8. Issue 10. Pp. 479–481. DOI: 10.22214/ijraset.2020.31934

19. Cheng Y., Hu H. Analysis of the problems, causes and countermeasures in the brand construction of the postgraduate entrance examination institutions // Open Journal of Business and Management. 2020. Vol. 08. Issue 02. Pp. 396–413. DOI: 10.4236/ojbm.2020.82025

20. Reddy A.S.K., Raja K.H. A hybrid low-cost construction techniques and materials in construction project // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1197. Issue 1. P. 012058. DOI: 10.1088/1757-899X/1197/1/012058

21. Shoar S., Yiu T.W., Payan S., Parchamijalal M. Modeling cost overrun in building construction projects using the interpretive structural modeling approach: a developing country perspective // Engineering, Construction and Architectural Management. 2021. DOI: 10.1108/ECAM-08-2021-0732

22. Ларионов А.Н., Аль-Рубайе С.Д. Обоснование практических рекомендаций по совершенствованию системы управления строительной организацией: аспект качества // Строительное производство. 2021. № 2. С. 41–48. DOI: 10.54950/26585340_2021_2_41

23. Ларионов А.Н., Карачева А.А. Цифровизация как инновационный фактор снижения сроков и повышения качества жилищного строительства в Московской области // Журнал исследований по управлению. 2020. Т. 6. № 6. С. 30–57.

24. Гринченко С.Н., Щапова Ю.Л. Генезис информационных технологий как маркер генезиса иерархий в системе Человечества: модельное представление // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15. № 2. С. 421–430. DOI: 10.25559/SITITO.15.201902.421-430

Поступила в редакцию 23 февраля 2022 г.

Принята в доработанном виде 22 декабря 2022 г.

Одобрена для публикации 22 декабря 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Аркадий Николаевич Ларионов** — доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики и управления в строительстве; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 655750, Scopus: 55817390000, ResearcherID: I-2797-2013, ORCID: 0000-0001-9706-5131; laronovan@mgsu.ru;

Вячеслав Владимирович Соловьев — кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и управления в строительстве; **Национальный исследовательский Московский государственный**

строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 440293, ResearcherID: AE 1340-2022, ORCID 0000-0002-6563-7630; solovevvv@mgsu.ru;

Александр Алексеевич Морозов — руководитель блока управления проектами; ООО «АПМ»; 119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 10, стр. 1; moskv@inbox.ru.

Вклад авторов:

Ларионов А.Н. — научное руководство, концепция исследования процессов цифровизации, нормативно-методическое обеспечение.

Соловьев В.В. — методические решения в сфере ценообразования, написание текста статьи, итоговые выводы.

Морозов А.А. — предоставление фактического материала, анализ статистики.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Averina I.S. Evolution of the phenomenon of digital economy. *Bulletin of the Buryat State University. Economics and Management*. 2021; 1:3-9. DOI: 10.18101/2304-4446-2021-1-3-9 (rus.).
2. Krylova O.V. On the issue of introducing modern organizational structures for project management in the field of construction. *Innovation and Investment*. 2021; 3:277-279. (rus.).
3. Charehzehi A., Chai C., Md Yusof A., Chong H., Loo S. Building information modeling in construction conflict management. *International Journal of Engineering Business Management*. 2017; 9:184797901774625. DOI: 10.1177/1847979017746257
4. Zhang Y., Yin D., Zhu Y. Method for construction progress measurement for EPC oil and gas pipeline projects. *Journal of Oil and Gas Technology*. 2019; 41(06):130-132. DOI: 10.12677/jogt.2019.416110
5. Bardakov A.A., Kornilov D.A. Process improvements organizations based on information technology. *Management and Economics: Research and Development*. 2021; 12-34. (rus.).
6. Kamenchukov A.V. Features of designing automobile roads in automation systems of designing. *Far East: Problems of Development of the Architectural and Construction Complex*. 2017; 1:43-47. (rus.).
7. Glaz'ev S.Yu. Modern theory of long waves in economic development. *Economic Science of Modern Russia*. 2012; 2(57):27-42. (rus.).
8. Korchagin A.P. Problems and prospects of development of estimated standards in construction. *Financial Aspects of Structural Transformations of the Economy*. 2019; 5:83-90. (rus.).
9. Garcia-Macia D. Labor costs and corporate investment in Italy. *IMF Working Papers*. 2020; 20(38). DOI: 10.5089/9781513529721.001
10. Jaiswal A. An overview of Building Information Modeling (BIM) & construction of 4D BIM Model. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2021; 9(VI):3754-3758. DOI: 10.22214/ijraset.2021.35788
11. Ginzburg A.V. Technologies of information modeling of the life cycle of a capital construction object. *Actual Problems of the Construction Industry and Education*. 2020; 936-939. (rus.).
12. Aleshina I.A., Lyamceva I.N. Increasing the efficiency of construction enterprises as a result of introduction of BIM technologies. *Financial Economics*. 2021; 1:118-121. (rus.).
13. Izotova A.G., Litvinova N.A. Practical recommendations for transformation of the construction industry in the conditions of digitalization. *Economics and Business: Theory and Practice*. 2021; 1-1(71):133-135. DOI: 10.24411/2411-0450-2021-1030 (rus.).
14. Moskvichev M.A. Digitalization of the construction industry in the Russian Federation. *Modern Research as a Driver of Economic and Social Growth: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference*. 2021; 26-32. DOI: 10.46916/20022021-2-978-5-00174-148-0 (rus.).
15. Solov'ev V.V., Korchagin A.P. Current issues of improving the pricing system in construction in the transition period. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2020; 15(4):605-616. DOI: 10.22227/19970935.2020.4.605-616 (rus.).
16. Solovyov V.V., Korchagin A.P., Abou-Haidar S.B. Main vectors of updating o.rules of calculating transport builder's estimate. *World of Transport and Transportation*. 2018; 16(2):(75):116-127. (rus.).
17. Le H.T. Blockchain for building information modeling in construction industry. *1st Van Lang International Conference on Heritage and Technology Conference Proceeding, 2021: VanLang-HerITech*. 2021. DOI: 10.1063/5.0067158
18. Vanjari P.B. A review of Building Information Modelling for construction management. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2020; 8(10):479-481. DOI: 10.22214/ijraset.2020.31934
19. Cheng Y., Hu H. Analysis of the problems, causes and countermeasures in the brand construction of the postgraduate entrance examination institutions.

Open Journal of Business and Management. 2020; 08(02):396-413. DOI: 10.4236/ojbm.2020.82025

20. Reddy A.S.K., Raja K.H. A hybrid low-cost construction techniques and materials in construction project. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021; 1197(1):012058. DOI: 10.1088/1757-899X/1197/1/012058

21. Shoar S., Yiu T.W., Payan S., Parchamijalal M. Modeling cost overrun in building construction projects using the interpretive structural modeling approach: a developing country perspective. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2021. DOI: 10.1108/ECAM-08-2021-0732

22. Larionov A.N., Al-Rubaye S.J. Justification of practical recommendations for improving the manage-

ment system of a construction organization: the quality aspect. *Construction Production*. 2021; 2:41-48. DOI: 10.54950/26585340_2021_2_41 (rus.).

23. Larionov A., Karacheva A. Digitalization as an innovative factor of reducing the time and increasing the quality of housing construction in the Moscow region. *Journal of Management Studies*. 2020; 6(6): 30-57. (rus.).

24. Grinchenko S.N., Shchapova J.L. Genesis of information technologies as a marker of the genesis of hierarchies in the humankind's system: a model representation. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2019; 15(2):421-430. DOI: 10.25559/SITITO.15.201902.421-430 (rus.).

Received February 23, 2022.

Adopted in revised form on December 22, 2022.

Approved for publication on December 22, 2022.

B I O N O T E S: **Arkadij N. Larionov** — Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Economics and Management in Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 655750, Scopus: 55817390000, ResearcherID: I-2797-2013, ORCID: 0000-0001-9706-5131; larionovan@mgsu.ru;

Vyacheslav V. Solovlev — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Management in Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 440293, ResearcherID: AE 1340-2022, ORCID 0000-0002-6563-7630; solovevvv@mgsu.ru;

Alexander A. Morozov — Head of the Project Management Unit; LLC “APM”; build. 1, 10 Usacheva st., Moscow, 119048, Russian Federation; moskv@inbox.ru.

Contribution of the authors:

Arkadij N. Larionov — scientific guidance, the concept of the study of digitalization processes, regulatory and methodological support.

Vyacheslav V. Solovlev — methodological solutions in the field of pricing, writing the text of the article, final conclusions.

Alexander A. Morozov — provision of factual material, analysis of statistics.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Реинжиниринг процессов материально-технического обеспечения как основа формирования и функционирования логистических центров в строительстве

Сергей Борисович Сборщиков, Наталья Валериевна Лазарева

Публично-правовая компания «Единый заказчик в сфере строительства» (ППК «Единый заказчик»);
г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Цифровая и технологическая трансформации национальной экономики и инвестиционно-строительной сферы как ее неразрывной части определяют необходимость проведения качественного преобразования технических решений как управленческих, так и технологических процессов, которое в современной теории и практике принято обозначать как реинжиниринг. Подобным трансформациям подвержена и обеспечительная деятельность, в том числе материально-техническое обеспечение (МТО). Цель исследования — научное обоснование интенсификации и повышения эффективности МТО на основе логистических центров (ЛЦ) в условиях цифровой и технологической трансформации строительной отрасли. Задачи исследования — установление характера изменений схем организации управления потоками материальных и технических ресурсов в строительстве, предложение новых конфигураций указанных потоков на основе ЛЦ, определение места последних в общей структуре корпоративного уровня. В подобной постановке данная задача формулируется впервые, что свидетельствует о ее научной новизне.

Материалы и методы. В качестве основного методологического подхода используется теория логистики регулирующих воздействий. Для подтверждения отдельных положений исследований применяется структурно-функциональный анализ. Исходным информационным материалом послужил сформированный авторами научный задел в данной предметной области, а также публикации отечественных и зарубежных ученых по схожей тематике.

Результаты. Предложена организационная схема формирования и функционирования ЛЦ в строительстве, установлены принципиальные схемы потоков материально-технических ресурсов, на этом основании показана организация взаимодействия строительного объекта и ЛЦ, а также в его рамках МТО.

Выводы. Перспективным инструментом модернизации и интенсификации МТО строительства является ЛЦ, который обнаруживает большой потенциал формирования экономического эффекта и конкурентоспособности в связи со снижением скрытых потерь и определяющийся в первую очередь сокращением времени простоев, объема внутренней и внешней бракованной строительной продукции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: реинжиниринг, материально-техническое обеспечение, логистический центр, строительство, логистика, управление потоками материально-технических ресурсов, регулирующие воздействия, инжиниринг, производственно-инжиниринговый центр

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Сборщиков С.Б., Лазарева Н.В. Реинжиниринг процессов материально-технического обеспечения как основа формирования и функционирования логистических центров в строительстве // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 1. С. 102–115. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.102-115

Автор, ответственный за переписку: Наталья Валериевна Лазарева, tous2004@mail.ru.

Reengineering of logistics processes as the basis for the establishment and operation of logistics centres in the construction industry

Sergey B. Sborshikov, Natalia V. Lazareva

Public Law Company “Single Customer in the field of construction” (PPK “Single Customer”);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Digital and technological transformations of the national economy and the investment and construction sector as its integral part determine the need for the qualitative transformation of technical solutions in respect of both managerial and technological processes, referred to as reengineering in the present-day theory and practice. In turn, not only the main production activity is subject to such transformations, but also supplementary activities, including logistic support. In this regard, there is a contradiction between the transformed research and technology fundamentals of construction processes and traditional forms, as well as practical implementation patterns. In the field of logistics, this problem can be solved by logistics centres that are closely related to production and engineering structures. The purpose of the study is to establish a scientific

rationale for the logistics efficiency intensification and improvement using logistics centres amid digital and technological transformation of the construction industry. This mission determines the following research tasks: establishing the nature of changes in flow management patterns applied to material and technical resources in the construction industry; proposing new configurations of these flows using logistics centres, determine their position in the overall corporate structure. It is for the first time that this problem is formulated this way, which indicates its originality. The study is focused on logistics processes and their reengineering. Logistics centres are chosen as the subject of the study. Its practical value is a combination of the reengineering theory and new corporate structures such as production, engineering and logistics centres focused on intensifying processes of construction and enhancing the quality of the output.

Materials and methods. The theory of logistics of regulatory impacts is used as the main methodological approach. Structural and functional analysis is used to confirm certain assumptions. Earlier research, as well as publications of local and foreign researchers, was used by the authors as the source data.

Results. An organizational chart is proposed for the establishment and operation of a logistics centre in the construction industry; principal diagrams are developed for the flows of materials and resources; they are used to demonstrate interaction between a construction facility and a logistics centre.

Conclusions. A logistics centre is a promising tool for modernizing and intensifying the logistic support of construction processes; it unlocks a high potential for the economic efficiency and competitiveness, cuts hidden losses and is primarily determined by lower downtime and a smaller amount of in-house and external defective construction products.

KEYWORDS: reengineering, logistic support, logistics centre, construction, logistics, flow management of material and technical resources, regulatory impacts, engineering, centre for production and engineering

FOR CITATION: Sborshikov S.B., Lazareva N.V. Reengineering of logistics processes as the basis for the establishment and operation of logistics centres in the construction industry. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(1):102-115. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.102-115 (rus.).

Corresponding author: Natalia V. Lazareva, tous2004@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Обозначенная в настоящее время как государственный приоритет цифровая трансформация национальной экономики, по мнению авторов, должна рассматриваться как составляющая и превью нечто большего — технологической трансформации [1–6]. Данное утверждение обусловлено скачкообразным изменением в науке и технике, характеризующимся сменой технологического уклада мировой экономики, проявлением которого можно считать развитие не только цифровых технологий, но и создание материалов на основе нанотехнологий, а также дальнейшее формирование конкурентоспособной продукции при помощи аддитивных и природоподобных технологий. Таким образом, трансформации затрагивают как сферу материального производства, так и сферу услуг, и предполагают появление не только новых продуктов, но и качественное преобразование имеющихся технических решений [7–15]. Подобные преобразования существующих материальных и нематериальных объектов на новом качественном техническом уровне в современной науке и практике принято называть реинжинирингом. Приведенное выше в полной мере относится и к инвестиционно-строительной деятельности (ИСД) [16–21].

Реинжиниринг управленческих и технологических процессов в связи с технологической и цифровой трансформацией в строительстве в первую очередь обусловлен наличием противоречия между изменившейся научно-технической основой строительного производства и традиционными формами и схемами его практической реализации. В сфере материально-технического обеспечения (МТО) решить данную проблему можно на основе использования логистических центров (ЛЦ), тесно связанных с производственно-инжиниринговыми структурами [22–27].

Логистические центры широко распространены в сфере услуг, особенно в оптовой и розничной торговле. В современных условиях при развитии онлайн-форматов взаимодействия с потребителями они стали более востребованы. В строительстве ЛЦ до сих пор являются чем-то новым, хотя в качестве их предвестника можно рассматривать подразделения крупных строительных организаций типа управления производственно-технологической комплектации (УПТК). Несомненно, накопленный отечественный опыт в преломлении лучших зарубежных практик должен принести положительный эффект, особенно при расширении и развитии инжиниринговых схем управления в строительстве [28–33].

В то же время указанные выше структуры предполагают широкое применение методологии и практики логистики регулирующих воздействий. Подобные воздействия характеризуются направленностью, интенсивностью, временем, объемом и при устойчивой организации управления образуют потоки. Результативное управление потоками регулирующих воздействий может принести дополнительные преимущества и выгоды участникам ИСД [34, 35].

В этой связи в качестве гипотезы, которая положена в основу настоящего исследования, является предположение, что эффективность качественного преобразования процессов МТО напрямую связана с характером управления одноименными потоками в рамках ЛЦ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Традиционные подходы к формированию и функционированию организационных структур, как правило, базируются на методологии системного анализа и таких методах, как графическое мо-

делирование, группировка, сравнение, корреляция, аналогия, экспертные оценки. Утилитарно применительно к анализу состава и структуры ИСД на корпоративном уровне наиболее употребительным можно считать структурно-функциональный метод. Однако приведенные методы не учитывают динамический характер технологических и управленческих процессов и самой структуры. Подобный динамизм определяется и внутренними, и внешними факторами ИСД, что обуславливает перманентное изменение воздействий на объект управления, их направление, интенсивность. Аналогичное представление организационной структуры может быть связано с различными потоками (производственными, материально-техническими, информационными, финансовыми и т.д.).

Проведение исследования предполагало следующую последовательность исследовательских процедур: выявление характера изменений схем организации управления потоками материальных и технических ресурсов в строительстве, предложение новых конфигураций указанных потоков и на этой основе организационной структуры ЛЦ, разработку схемы организации взаимодействия ЛЦ и строительного объекта, а также организации МТО строительства при функционировании ЛЦ, установление составляющих экономического эффекта от использования ЛЦ.

Методика исследования базируется на теоретической основе логистики регулирующих воздействий, в контексте исследования увязывает потоки регулирующих воздействий и материально-технических ресурсов (МТР). Для определения укрупненных элементов ЛЦ применялся структурно-функциональный анализ, что позволило установить трансформации, связанные с реинжинирингом как технологических, так и управленческих процессов МТО строительства.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ритм современной жизни диктует постоянно повышающиеся требования к качеству и производительности общественного производства, его отклику на запросы потребителей. Растет и значимость логистики как теории и практики, одним из важных

ее аспектов является формирование и функционирование соответствующих организационных структур.

Рассматривая логистику как управление потоками применительно к организации обеспечения строительного производства, можно выделить две ее составляющие (рис. 1):

- управление потоками материальных ресурсов;
- управление потоками технических ресурсов.

Данное деление в первую очередь связано с нормативно закреплённой классификацией ресурсов в строительстве, которая отражается в процессах и документах ценообразования. Также подобное агрегирование ресурсов целесообразно не только с точки зрения экономики — представления их как предметов и орудий труда, но и дифференциации области приложения организации строительства и выделения в ней направлений, связанных с МТО и механизацией возведения зданий и сооружений, вносящих существенный вклад в формирование как результата, так и эффекта от ИСД.

В соответствии с теорией и практикой логистики поточные процессы характеризуются:

- направлением;
- интенсивностью;
- пропускной способностью.

Рассматривая эти параметры в рамках управления МТО строительства в контексте дифференциации на материальные и технические ресурсы, можно предложить следующие схемы организации управления потоками, представленные на рис. 2, 3.

Прежде всего, необходимо отметить, что в силу отраслевых особенностей строительства направление потоков материальных и технических ресурсов ориентировано на строительный объект, достигнув которого ресурсы распределяются по фронтам работ. Такая конфигурация справедлива до момента сдачи объекта в эксплуатацию, т.е. она охватывает только период инвестирования.

Применительно к управлению потоками материальных ресурсов (рис. 2) интенсивность потребления данного вида ресурсов будет определяться характером управления поставками, а пропускная способность (в строительном производстве тождественна номенклатуре и объёму потребления ресурсов) верифицируется с процессами управления

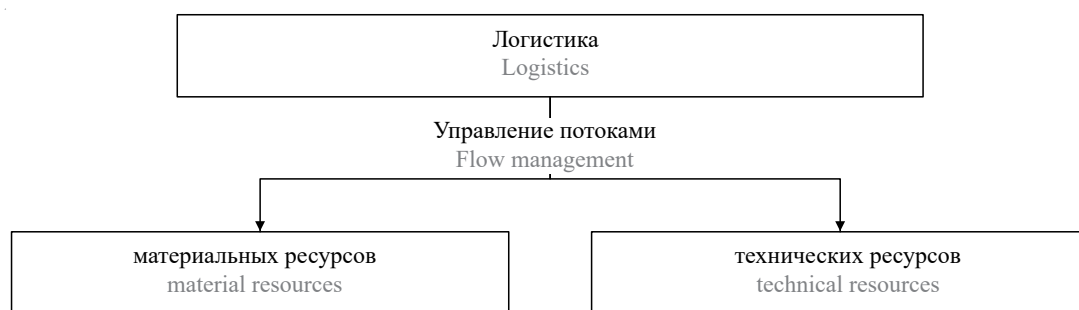


Рис. 1. Составляющие логистики материально-технических ресурсов в строительстве

Fig. 1. Breakdown of the logistics of material and technical resources in the construction industry

запасами и закупками. Интерпретируя подобную зависимость с точки зрения организации, ее можно квалифицировать как УПТК — структурное подразделение крупной строительной компании, реализующее не только функции производственно-технологической комплектации (ПТК), но и материально-технического снабжения (МТС), складирования, транспортирования и диспетчеризации, и имеющее прямые и неразрывные связи со строительным производством.

Следует отметить, что на управление поставками материальных ресурсов оказывают ощутимое влияние фактор территориального размещения объектов, а также технологическая последовательность выполнения работ, зафиксированная в календарных планах организационно-технологической документации ППР и ПОР, в которых осуществляется соответственно внутриобъектная и межобъектная увязка работ.

Согласно предложенной схеме при управлении запасами и закупками в первую очередь берутся в расчет: характер и график финансирования строительства зданий и сооружений, а также номенклатура работ, зафиксированная в проектной и сметной документации.

Приведенные факторы и параметры, влияющие на характер и особенности управления потоками, в каждом конкретном случае могут быть дополнены, детализированы и отражены в соответствующей проектной, организационно-технологической и управленческой документации.

В то же время управление потоками технических ресурсов (или технических средств (ТС)) имеет свою специфику относительно интенсивности и пропускной способности, что связано не только с экономической природой — это основные фонды, но и с характером строительного производства и условиями возведения отдельного объекта (рис. 3).

Интенсивность работы ТС как временная составляющая управления потоками обуславливается режимом их эксплуатации и характером перебазировки с одной стоянки на другую как в границах стройплощадки, так и с объекта на объект. Указанные факторы в свою очередь находятся в сильной корреляции с условиями строительства, местоположением объектов и запланированной последовательностью производства работ.

Вторая составляющая, которая определяет как количественное, так и качественное содержание управления потоками ТС, а именно состав парка, идентифицируется следующими детерминантами:

- условия технического обслуживания и ремонта;
- необходимость покупки или продажи ТС;
- целесообразность лизинга сторонних или сдачи в аренду собственных ТС.

Основной критерий, которому должен удовлетворять состав парка ТС, — это возможность производства всего комплекса работ на строительной площадке в установленные сроки, с необходимым качеством и минимальными эксплуатационными затратами.



Рис. 2. Схема организации управления потоками материальных ресурсов в строительстве

Fig. 2. A management chart for flows of material resources in the construction industry



Рис. 3. Схема организации управления потоками технических ресурсов (средств) в строительстве

Fig. 3. A management chart for flows of technical resources (funds) in the construction industry

Подобная минимизация затрат может быть достигнута не только эксплуатацией собственного парка машин и механизмов, но и лизингом (арендой) у владельцев, чьи ТС находятся на ближайших к строительной площадке территориях (что особенно актуально для случая рассредоточенного строительства), а также получением дополнительного дохода за счет сдачи в аренду или продажи собственных ТС, которые по тем или иным причинам не эксплуатируются или в будущем будут не востребованы на строительном производстве.

Необходимо указать, что при принятии решения в рамках данной составляющей управления потоками ТС следует принимать во внимание:

- номенклатура работ;
- объемно-планировочные и конструктивные решения объектов;

- условия строительства, особенно его осложняющие;

- характер финансирования строительства.

Так же как и в случае управления потоками материальных ресурсов, приведенный выше перечень является набором групп основных показателей, которые могут быть дополнены, детализированы в каждом конкретном случае.

Учитывая вышеприведенное, можно предположить, что интеграция управления потоковыми процессами в рамках МТО и механизации позволит сформировать новую организационную структуру, которая качественно преобразует не только управленческие и производственные процессы, но и связи между ними, т.е. будет реализована методология реинжиниринга организационной структуры и бизнес-процессов (рис. 4).



Рис. 4. Организационная схема формирования и функционирования логистического центра в строительстве
Fig. 4. An organizational chart for the establishment and operation of a logistics centre in the construction industry

Таким образом, в контексте исследования ЛЦ осуществляет управление двумя предметными областями ИСД:

- материально-техническим обеспечением;
- механизацией.

Каждая из них имеет свою декомпозицию. Так, управление МТО включает следующие компоненты: МТС, ПТК, складирование, транспортирование и диспетчеризация. Управление механизацией составляют: эксплуатация, перебазировка, техническое обслуживание и ремонт, аренда (лизинг), покупка (продажа) ТС.

В результате объединения указанных предметных областей в одной структуре произойдет наложение (частичное или полное) их функциональных элементов, что делает необходимым корректировку связей между элементами и распределение решаемых задач.

Поэтому считаем целесообразным централизацию блока диспетчеризации, так как фактор времени в решаемых логистическим центром задачах становится определяющим, например: поставка

конструкций и материалов «точно в срок» способствует не только сокращению скрытых потерь, но и уменьшению площади приобъектных складов, в итоге снижению затратной части строительства зданий и сооружений. Будет разумным элементы, связанные с транспортировкой материальных ресурсов и перебазировкой ТС, объединить в один блок и подчинить подразделению механизации. С другой стороны, элементы, верифицируемые с материально-техническим снабжением, покупкой, арендой, в том числе ТС, сводятся в один блок подразделения МТО.

Данные трансформации организационной структуры могут усилить чисто технические мероприятия, связанные с компьютеризацией процессов управления в рамках ЛЦ, широким использованием средств телекоммуникации и ВІМ-технологий. Из-за этого произойдет не только перераспределение функций между элементами структуры, но и сильно трансформируются связи между ними, а также изменятся штатная численность и квалификационный состав в сторону увеличения инженерно-техниче-

ских работников по отношению к административно-управленческому персоналу.

Как отмечалось ранее, в исследованиях авторов в зарубежной и отечественной практике строительства в настоящее время наблюдается широкое применение инжиниринговой схемы управления, в основе которой лежит функционирование организатора строительства. Его деятельность как субъекта ИСД направлена на решение комплекса как технических, так и управленческих задач, возникающих при возведении зданий и сооружений.

Увеличение сложности строительства, а также количества решаемых в его рамках задач, в том числе связанных с перераспределением и централизацией функций, которые раньше делегировались подрядчикам и нередко становились причинами срывов и удорожания строительства, указывают на необходимость формирования действенного организационно-экономического механизма. И таким механизмом может стать логистический центр.

Также следует констатировать, что ЛЦ может быть частью более крупного образования — производственно-инжинирингового центра (рис. 5), в рамках которого, помимо подразделений МТО и механизации, интегрированных между собой, функционируют подразделения управления строительным производством и информацией.

Основные функциональные блоки «Управление строительным производством» — это планирование, подготовка строительства и собственно возведение объекта, а «Управление информацией»: сбор, обработка, хранение и передача информации, достаточной для принятия решений.

Так же как и в случае «Логистического центра», наложение функциональных блоков в рамках производственно-инжинирингового центра станет побудительным мотивом проведения реинжиниринговых мероприятий. Более подробно особенности функционирования производственно-инжинирингового центра будут освещены в следующих публикациях.

Вне зависимости от функционирования ЛЦ самостоятельно или в составе другой структуры можно выделить три принципиальные схемы потоков

МТР (рис. 6): децентрализованная; централизованная; комбинированная.

В первом случае МТО объектов осуществляет напрямую от поставщиков, и подрядчики самостоятельно регулируют поставки, запасы, а также закупки МТР для собственных нужд. Здесь наиболее часто возникают сбои в МТО и, как следствие, срывы в графике производства работ, превышение стоимости строительства.

Вторая схема описывает ситуацию МТО, при которой все потоки МТР проходят через ЛЦ, в том числе и тогда, когда требуется перераспределить материальные ресурсы или перебазировать ТС с объекта на объект, даже если они располагаются в непосредственной близости. Таким образом, можно установить основной недостаток данной схемы — это увеличение времени на поставку МТР.

Третья схема — комбинация предыдущих двух. Основные потоки МТР идут через ЛЦ. Однако поставки местных ресурсов могут выполняться, минуя его, непосредственно на строительный объект, также возможно перераспределение ресурсов и перебазировка ТС с объекта на объект, если они находятся в непосредственной близости. Но в любом случае потоки МТР регулируются ЛЦ, который отслеживает ситуацию на объектах и является источником побудительных (регулирующих) воздействий. Комбинированная схема потоков МТР позволяет устранить недостатки двух первых конфигураций.

Все указанные схемы имеют свои сферы приложения. Например, децентрализованная схема оправдана в случае производства работ на небольших объектах, выполнения ремонтных работ. Централизованная схема целесообразна при сосредоточении объектов на небольшой территории или одной строительной площадке и характеризуется значительными объемами, а также интенсивностью потоков МТР.

Комбинированная схема организации потоков МТР наиболее эффективна в случае рассредоточенного строительства, когда объекты распределены по значительной территории, а также при возведении линейных объектов, предполагающем пере-

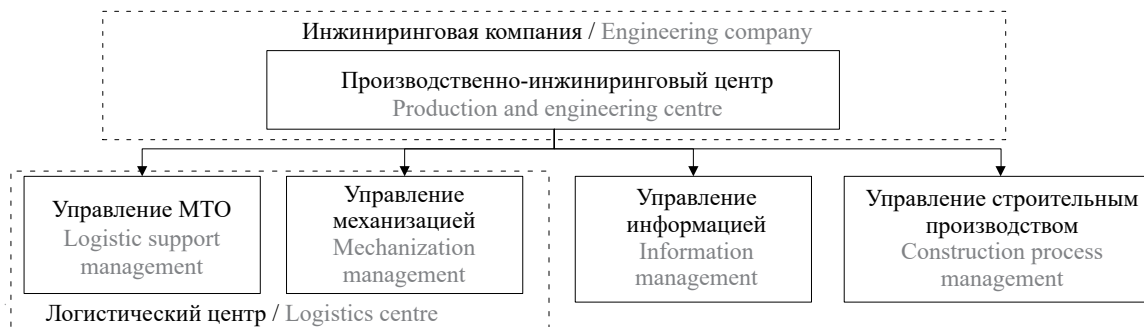


Рис. 5. Составляющие производственно-инжинирингового центра

Fig. 5. Constituents of the production and engineering centre

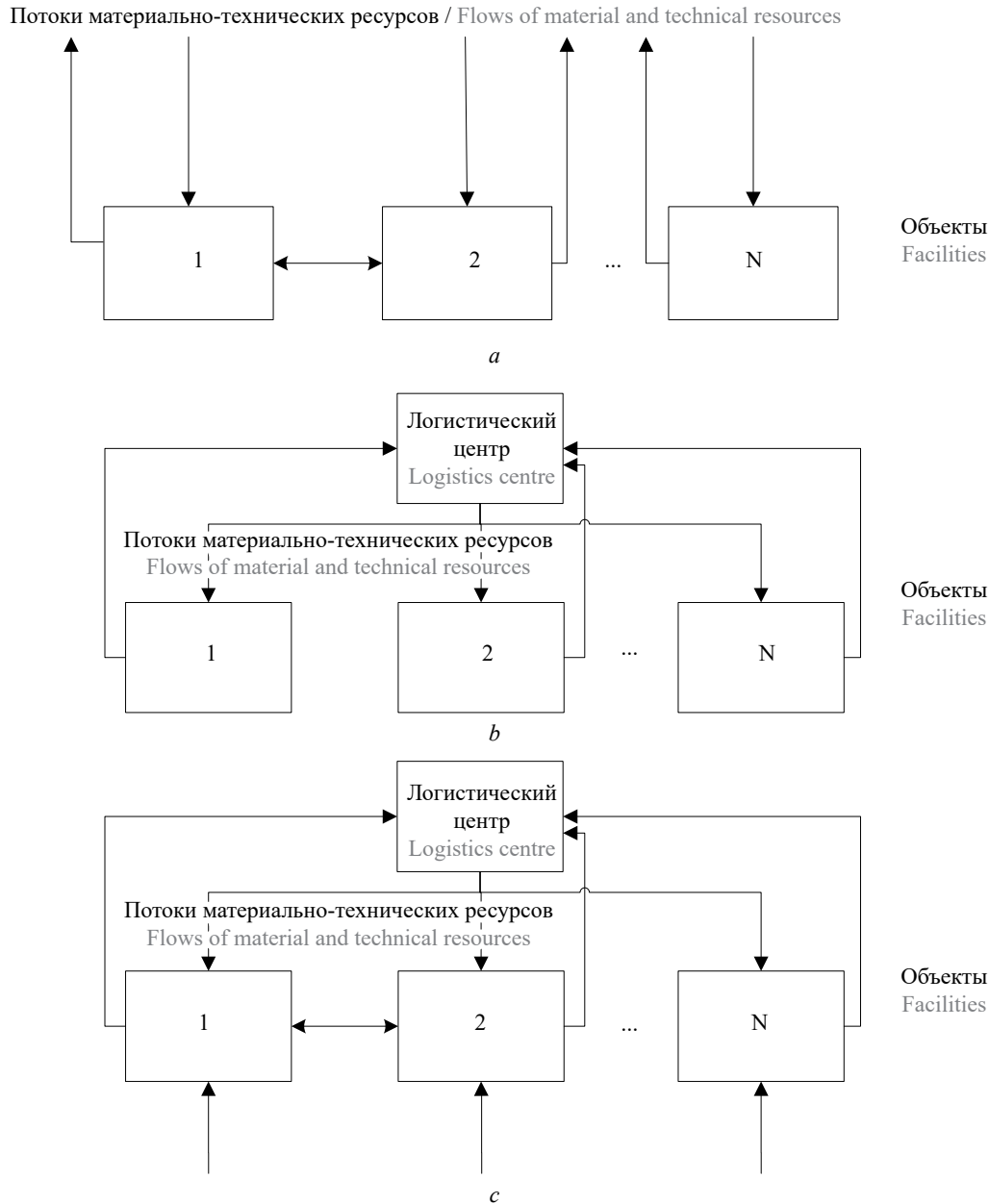


Рис. 6. Принципиальные схемы потоков МТР: *a* — децентрализованная; *b* — централизованная; *c* — комбинированная

Fig. 6. Principal diagrams showing flows of materials and resources: *a* — decentralized diagram; *b* — centralized diagram; *c* — mixed diagram

мещение больших объемов строительных грузов и перебазировку машин и механизмов.

Рассматривая функционирование ЛЦ в пределах комбинированной схемы потоков МТР как идеальный случай, который наделен всем спектром взаимодействий МТО со строительным производством, далее будем анализировать именно его (рис. 7).

В приведенной схеме можно выделить такие взаимодействия, как:

- 1) ЛЦ — строительный объект;
- 2) сторонний поставщик — строительный объект;
- 3) строительный объект 1 — строительный объект 2;
- 4) ЛЦ — сторонние потребители;
- 5) строительный объект — ЛЦ.

Взаимодействие 1 рассматривается в виде потока централизованных МТР и предполагает в качестве обратной связи информацию об неиспользованных МТР, а также их возврат и вывоз с объекта отходов строительного производства и неликвидов для утилизации, переработки и хранения. Последние материальные потоки, имеющие обратное направление (от строительного объекта к ЛЦ), образуют взаимодействие 5.

Поставки местных материальных ресурсов, аренда МТС формируют взаимодействие 2, оно предполагает регулирующие воздействия ЛЦ и наличие обратной связи — информацию об использовании местных ресурсов.

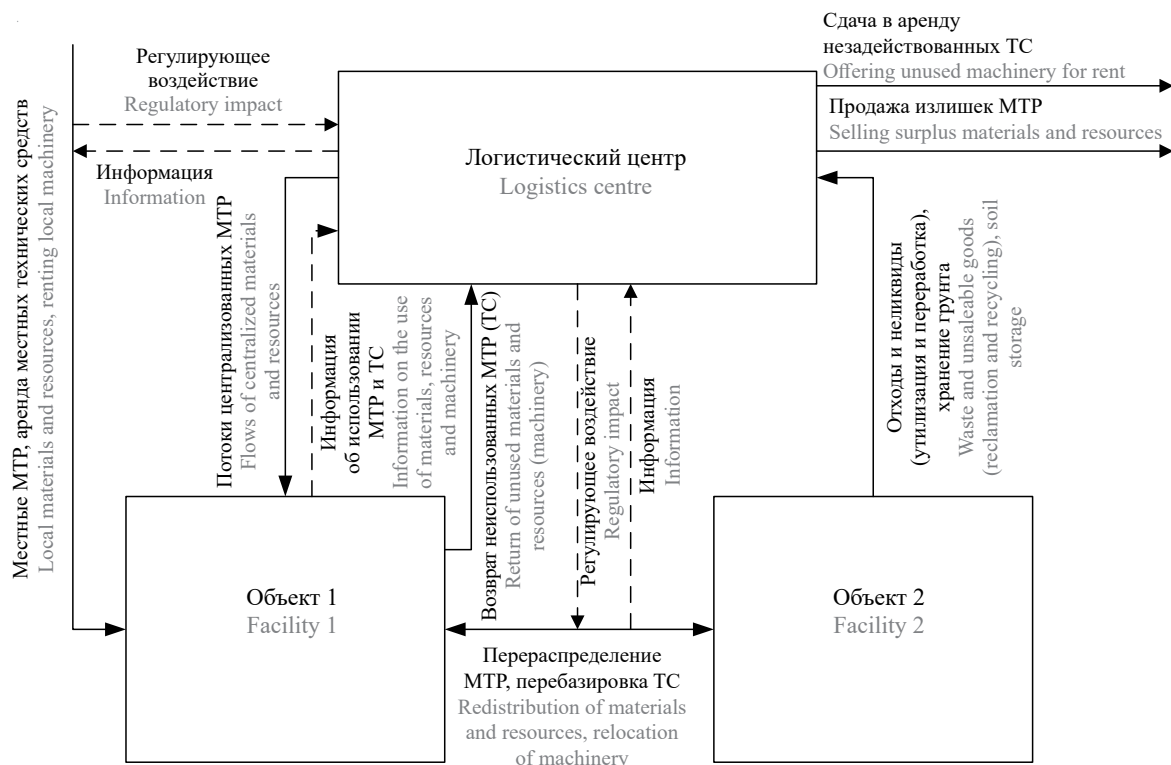


Рис. 7. Схема организации взаимодействия логистического центра и строительного объекта

Fig. 7. Diagram of interaction between the logistics centre and the construction facility

Как отмечалось, в некоторых случаях, например, когда объекты находятся в непосредственной близости друг от друга, возможны перераспределение материальных ресурсов и перебазировка ТС. Это взаимодействие 3, которое регулируется логистическим центром, и его результат подтверждается информацией о выполнении.

Для получения дополнительного дохода ЛЦ может реализовывать излишки материальных ресурсов или сдавать в аренду незадействованные в данном периоде строительства ТС сторонним организациям, что позволит, кроме всего, высвободить дополнительные складские площади. Данные отношения составляют взаимодействие 4.

Осуществление указанных выше взаимодействий предполагает некоторую вариативность в подчиненности логистического центра. Возможные варианты его функционирования:

- в составе строительной (или инжиниринговой) организации;
- самостоятельная организация.

Вариативность функционирования ЛЦ, его взаимодействий с потребителями и поставщиками МТР определяют наличие различных схем организации МТО (рис. 8).

Логистический центр является реципиентом технологического комплекта, транспортируемого либо в форме монтажных комплектов (вариант 1) на приобъектные склады, которые затем по мере надобности перемещаются на рабочие места, либо

в форме рейсовых комплектов (вариант 2), непосредственно доставляемых на рабочие места в том случае, если монтаж осуществляется «с колес». Вариант 3 подразумевает потоки МТР от сторонних поставщиков, минуя ЛЦ, в форме поставочных комплектов на приобъектный склад, которые преобразуются в монтажные комплекты и передвигаются к рабочим местам.

Организация МТО при наличии ЛЦ не обязательно должна строго следовать описанным схемам, а может быть их компиляцией, в том числе и в разные периоды и этапы строительства.

Однако главным критерием принятия как частных решений, так и в общем использования ЛЦ при строительстве зданий и сооружений служит получение экономического эффекта (рис. 9), который составляют:

- снижение скрытых потерь;
- экономия прямых затрат;
- экономия накладных расходов;
- получение дополнительного дохода от сдачи в аренду и продажи МТР.

Следует отметить, что большой потенциал формирования экономического эффекта и конкурентоспособности связан со снижением скрытых потерь и определяется в первую очередь сокращением времени простоев, объема внутренней и внешней бракованной строительной продукции.

Экономия прямых затрат обуславливается заинтересованностью ЛЦ в поиске наиболее дешевых

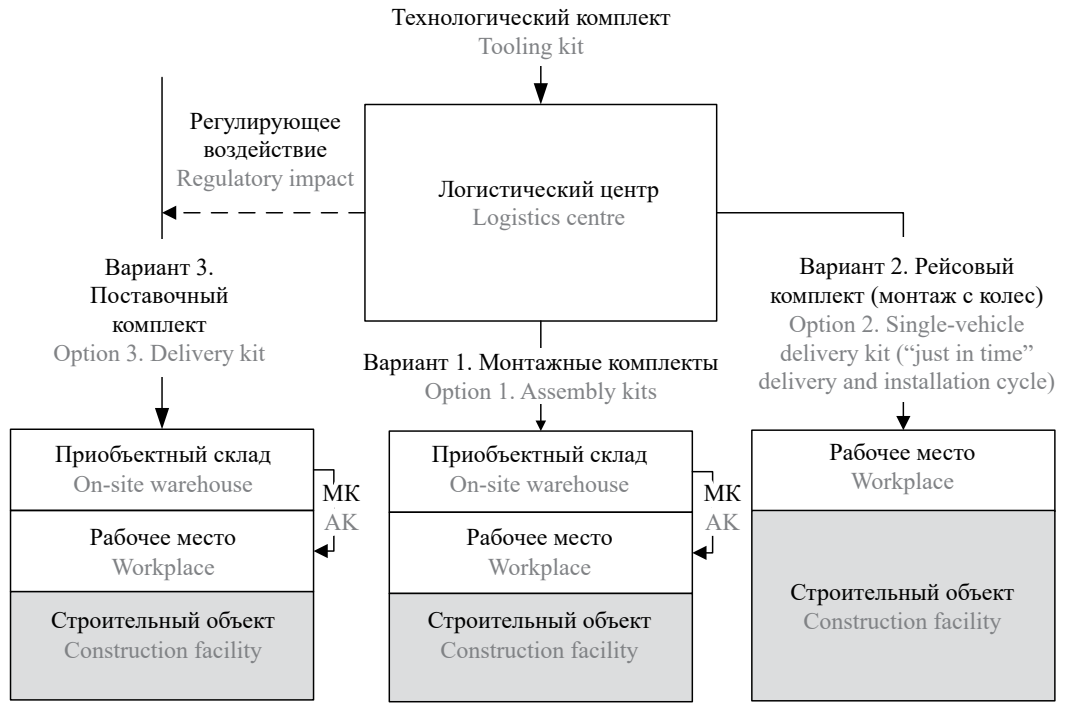


Рис. 8. Схема организации МТО при функционировании логистического центра: МК — монтажный комплект
Fig. 8. Arrangement of delivery of materials and supplies amid the operation of the logistics centre: АК — assembly kit

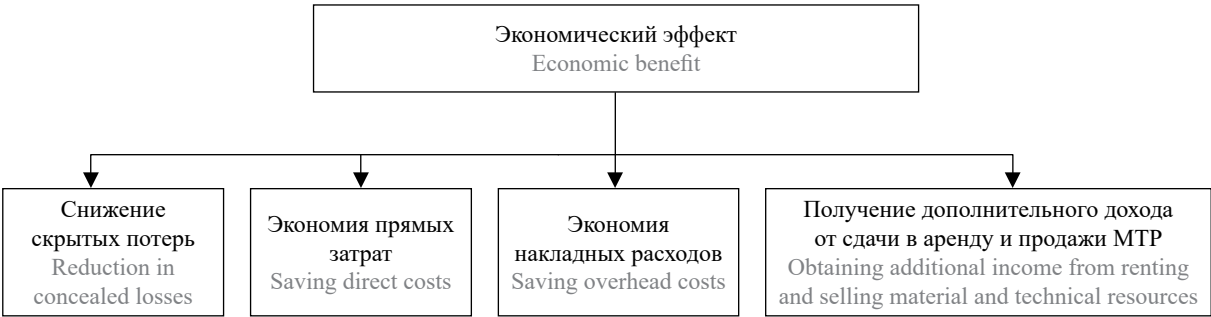


Рис. 9. Составляющие экономического эффекта от использования логистического центра при строительстве зданий и сооружений
Fig. 9. Economic benefits from using the logistics centre in the process of construction of buildings and structures

материальных ресурсов, но необходимого качества, а также вариантов механизации с минимальными эксплуатационными затратами и соответствующей производительностью.

Экономия накладных расходов связана со снижением постоянных затрат, которое может быть достигнуто в результате сокращения продолжительности.

Получение дополнительного дохода логистическим центром было подробно освещено выше по тексту.

Наличие указанных составляющих экономического эффекта указывает на еще одно перспективное направление в деятельности ЛЦ — управление стоимостью инвестиционного проекта и дает возможность дальнейшего повышения конкуренто-

способности компаний, реализующих методологии и практики логистики и реинжиниринга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Логистический центр, являясь частью производственно-инжиниринговой структуры, осуществляет управление двумя видами деятельности — материально-техническим обеспечением и механизацией строительства. Управление потоками МТР может быть реализовано централизованно, децентрализованно или комбинировано, как сочетание преимуществ первых двух схем. Указанные схемы имеют свои сферы приложения.

Вариативность функционирования ЛЦ, его взаимодействия с потребителями и поставщиками

МТР определяют наличие различных схем организации МТО.

Основным критерием принятия решений использования логистического центра при строительстве зданий и сооружений служит получение экономического эффекта, который составляют: снижение скрытых потерь, экономия прямых затрат, экономия накладных расходов, получение дополнительного дохода от сдачи в аренду и продажи МТР.

Перспективное направление в деятельности ЛЦ — управление стоимостью инвестиционного проекта, которое дает возможность дальнейшего повышения конкурентоспособности компаний, реализующих методологии и практики логистики и реинжиниринга. Это можно выделить и в качестве темы следующих исследований в выбранной авторами предметной области.

Следует констатировать, что практическая значимость связана с соединением теории реинжиниринга и новых организационных структур, таких как производственно-инжиниринговые и логистические центры для интенсификации строительства, достижения новых качественных показателей.

Подтверждением обоснованности представленных положений можно считать обособленную реализацию некоторых элементов, представленных в статье, например, такое организационное построение, как ЛЦ, эффективно использовалось при реконструкции Potsdamer Platz в Берлине, а реинжиниринг широко применяется и в зарубежной, и в отечественной практике трансформации управленческих процессов. Однако в приведенном в статье изложении данные элементы употребляются впервые.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *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
2. *Киевский И.Л., Алексанин А.В., Жаров Я.В.* Организационная обеспеченность строительных проектов на основе технологии информационного моделирования // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 12. С. 55–60. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.12.55-60
3. *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
4. *Жаров Я.В.* Организационно-технологическое проектирование при реализации инвестиционно-строительных проектов // Вестник МГСУ. 2013. № 5. С. 176–184.
5. *Aleksanin A.* Secondary building materials planning system // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 661. Issue 1. P. 012103. DOI: 10.1088/1757-899X/661/1/012103
6. *Маслова Л.А., Сборщиков С.Б.* Элементы информационно-аналитического обеспечения реинжиниринга объектов капитального строительства // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 7. С. 912–921. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.7.912-921
7. *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
8. *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
9. *Eslerod 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
10. *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
11. *Ермолаев Е.Е.* Зарубежный и отечественный опыт использования элементов инжиниринга, аутсорсинга и аутстаффинга в строительном производстве // Нормирование и оплата труда в строительстве. 2019. № 4. С. 49–67.
12. *Афанасьев А.М., Гилева О.Я., Ермолаев Е.Е.* Устойчивое развитие малых городов на основе строительного комплекса // Инновации и инвестиции. 2018. № 3. С. 139–141.
13. *Ермолаев Е.Е.* Особенности инвестиционной активности в строительной сфере на современном этапе // Гуманитарные и социальные науки. 2013. № 4. С. 11–17.
14. *Монастырев П.В., Евдокимцев О.В., Струлев С.А.* Реализация цифровой трансформации образовательных программ в области информационного моделирования зданий, сооружений и линейных объектов // Современная наука: теория, методология, практика : мат. IV Всерос. национальной науч.-практ. конф. 2022. С. 318–323.
15. *Yazhlev I., Spitsov D., Popkov A.* The issues of legal and regulatory support for the implementation of resource-saving, energy-saving and best available technologies in urban development // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 210. P. 13023. DOI: 10.1051/e3s-conf/202021013023

16. Сборщиков С.Б., Лейбман Д.М. Формализованное описание функционирования системы стратегического контроллинга // Вестник МГСУ. 2016. № 10. С. 151–159. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.10.151-159

17. Leybman D., Khripko T. Quality assurance program of a nuclear facility // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 97. P. 03015. DOI: 10.1051/e3s-conf/20199703015

18. Лейбман Д.М. Организация строительства технически сложных объектов // Нормирование и оплата труда в строительстве. 2018. № 5. С. 64–73.

19. Шинкарева Г.Н., Маслова Л.А. Инжиниринг как основа модернизации строительной отрасли // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании : сб. мат. VI Междунар. науч. конф. 2018. С. 162–166.

20. Шинкарева Г.Н., Маслова Л.А. Комплексный инжиниринг как способ интенсификации строительного производства // Нормирование и оплата труда в строительстве. 2018. № 3. С. 37–41.

21. Шинкарева Г.Н. Модель инжиниринговой схемы организации строительства для контрактов жизненного цикла : дис. ... канд. техн. наук. М., 2018.

22. Маслова Л.А., Сборщиков С.Б., Журавлев П.А. Реинжиниринг в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 7. С. 71–76. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.07.71-76

23. Сборщиков С.Б., Маслова Л.А. Реинжиниринг объектов капитального строительства и реинжиниринг технологических процессов // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 10. С. 1321–1330. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.10.1321-1330

24. Лазарева Н.В., Сборщиков С.Б., Маслова Л.А. Ресурсообеспечение реинжиниринга объектов капитального строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 12. С. 66–71. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.12.66-71

25. Сборщиков С.Б., Лазарева Н.В., Маслова Л.А. Параметры реинжиниринга технологических процессов // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 4. С. 28–33. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.04.28-33

26. Сборщиков С.Б., Лазарева Н.В. Формирование дополнительного эффекта при управлении стоимостью инвестиционного проекта за счет мероприятий реинжиниринга // Вестник гражданских ин-

женеров. 2020. № 2 (79). С. 252–263. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-2-252-263

27. 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

28. Zhuravlev P., Marukyan A., Markova I., Khidirov S., Nazarov B. The rationale for taking into account the organizational features of work in the winter when designing // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 883. Issue 1. P. 012212. DOI: 10.1088/1757-899X/883/1/012212

29. Журавлев П.А., Марукян А.М. Ресурсообеспечение инвестиционно-строительной деятельности как основа обоснования эффективности инвестиционных программ // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 1. С. 59–66. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.01.59-66

30. Журавлев П.А., Марукян А.М. Особенности предпроектных проработок в инвестиционно-строительной деятельности (часть 1) // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. № 3 (37). С. 10–16. DOI: 10.52684/2312-3702-2021-37-3-10-16

31. Ключев В.Д., Журавлев П.А., Зайцев Д.А. Оценка затрат на реализацию региональных программ капитального ремонта многоквартирных домов // Нормирование и оплата труда в строительстве. 2019. № 1. С. 58–63.

32. Ключев В.Д., Журавлев П.А., Евсеев В.Г. Использование квалиметрического подхода для оценки конкурентоспособности инвестиционных строительных проектов // Нормирование и оплата труда в строительстве. 2017. № 11. С. 56–62.

33. Сборщиков С.Б. Логистика регулирующих воздействий в инвестиционно-строительной сфере (теория, методология, практика) : дис. ... д-ра экон. наук. М., 2012. 361 с.

34. Попков А.Г., Игонин Д.С. Логистические комплексные решения процессов в строительстве инфраструктуры города // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. № 9 (1009). С. 44–45.

35. Sborshikov S., Bobin A. Formal description model management of cluster structures in construction // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 251. P. 05032. DOI: 10.1051/mateconf/201825105032

Поступила в редакцию 30 мая 2022 г.

Принята в доработанном виде 23 ноября 2022 г.

Одобрена для публикации 24 декабря 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Сергей Борисович Сборщиков** — доктор экономических наук, профессор, начальник управления департамента проектирования; **Публично-правовая компания «Единый заказчик в сфере строительства» (ППК «Единый заказчик»);** 127051, г. Москва, ул. Садовая-Самотечная, д. 10, стр. 1; РИНЦ ID: 431022, ORCID: 0000-0001-6802-2888; tous2004@mail.ru;

Наталья Валериевна Лазарева — кандидат технических наук, доцент, начальник управления департамента проектирования; **Публично-правовая компания «Единый заказчик в сфере строительства» (ППК «Единый заказчик»);** 127051, г. Москва, ул. Садовая-Самотечная, д. 10, стр. 1; РИНЦ ID: 808973, ORCID: 0000-0001-6802-2888; nata_0986@mail.ru.

Вклад авторов:

Сборщиков С.Б. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, написание исходного текста, научное редактирование, итоговые выводы.

Лазарева Н.В. — обработка материала, проведение исследования, доработка текста, описание результатов и формирование выводов исследования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Aleksanin A.V., Zharov Ya.V. The potential of using digital information models in the framework of construction management. *Industrial and Civil Construction*. 2022; 1:52-55. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.01.52-55 (rus.).
2. Kievskiy I.L., Aleksanin A.V., Zharov Y.V. Organizational provision of construction projects based on information modeling technology. *Industrial and Civil Construction*. 2021; 12:55-60. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.12.55-60 (rus.).
3. Kievskiy I.L., Zharov Y.V. Formation of competence centers for the application of BIM technologies in construction. *Industrial and Civil Construction*. 2021; 11:4-10. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.11.04-10 (rus.).
4. Zharov Ya.V. Process Organization Design within the Framework of Construction Projects. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013; 5:176-184. (rus.).
5. Aleksanin A. Secondary building materials planning system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 661(1):012103. DOI: 10.1088/1757-899X/661/1/012103
6. Sborshikov S.B., Maslova L.A. Elements of information and analytical support for the reengineering of capital construction objects. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14:7:912921. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.7.912-921 (rus.).
7. 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
8. 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
9. 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
10. 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
11. Ermolayev E.E. Foreign and domestic experience in the use of elements of engineering, outsourcing and outstaffing in the construction industry. *Rationing and Remuneration of Labor in Construction*. 2019; 4:49-67. (rus.).
12. Afanasyev A.M., Gileva O.Ya., Ermolaev E.E. Sustainable development of small towns based on the construction complex. *Innovations and Investments*. 2018; 3:139-141. (rus.).
13. Ermolaev E.E. Features of investment activity in the construction sector at the present stage. *Humanities and Social Sciences*. 2013; 4:11-17. (rus.).
14. Monastirev P.V., Evdokimtsev O.V., Strulev S.A. Implementation of digital transformation of educational programs in the field of information modeling of buildings, structures and linear objects. *Modern science: theory, methodology, practice : materials of the IV All-Russian National Scientific and Practical Conference*. 2022; 318-323. (rus.).
15. Yazhlev I., Spitsov D., Popkov A. The issues of legal and regulatory support for the implementation of resource-saving, energy-saving and best available technologies in urban development. *E3S Web of Conferences*. 2020; 210:13023. DOI: 10.1051/e3s-conf/202021013023
16. Sborshchikov S.B., Leybman D.M. Formalized description of strategic control system functioning. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2016; 10:151-159. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.10.151-159 (rus.).
17. Leybman D., Khripko T. Quality assurance program of a nuclear facility. *E3S Web of Conferences*. 2019; 97:03015. DOI: 10.1051/e3sconf/20199703015
18. Leibman D.M. Organization of construction of technically complex objects. *Rationing and Remuneration of Labor in Construction*. 2018; 5:64-73. (rus.).
19. Shinkareva G.N., Maslova L.A. Engineering as a basis for modernization of the construction industry. *Integration, partnership and innovation in construction science and education : collection of materials of the VI International Scientific Conference*. 2018; 162-166. (rus.).
20. Shinkareva G.N., Maslova L.A. Integrated engineering as a way of intensification of construction production. *Rationing and Remuneration of Labor in Construction*. 2018; 3:37-41. (rus.).

21. Shinkareva G.N. *Model of engineering scheme of construction organization for life cycle contracts : diss. ... candidate of technical sciences*. Moscow, 2018. (rus.).

22. Maslova L.A., Sborshikov S.B., Zhuravlev P.A. Reengineering in construction. *Industrial and Civil Construction*. 2019; 7:71-76. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.07.71-76 (rus.).

23. Sborshikov 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.).

24. Lazareva N.V., Sborshikov S.B., Maslova L.A. Resource support of re-engineering of objects of capital construction. *Industrial and Civil Construction*. 2019; 12:66-71. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.12.66-71 (rus.).

25. Sborshikov S.B., Lazareva N.V., Maslova L.A. Parameters of technological processes reengineering. *Industrial and Civil Construction*. 2020; 4: 28-33. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.04.28-33 (rus.).

26. Sborshikov S.B., Lazareva N.V. Formation of additional effect at management of the investment project cost at the expense of reengineering measures. *Bulletin of Civil Engineers*. 2020; 2(79):252-263. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-2-252-263 (rus.).

27. Sborshikov S.B., Zhuravlev P.A. The life cycle of urban planning solutions: the organizational aspect of their reengineering. *Industrial and Civil Construction*. 2021; 4:33-39. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.04.33-39 (rus.).

28. Zhuravlev P., Marukyan A., Markova I., Khidirov S., Nazarov B. The rationale for taking into account the organizational features of work in the win-

ter when designing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 883(1):012212. DOI: 10.1088/1757-899X/883/1/012212

29. Zhuravlev P.A., Marukyan A.M. Resource provision of investment and construction activities as the basis of the mechanism for justifying the effectiveness of investment programs. *Industrial and Civil Construction*. 2021; 1:59-66. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.01.59-66 (rus.).

30. Zhuravlev P.A., Marukyan A.M. Features of pre-project studies in investment and construction activities (part 1). *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea*. 2021; 3(37):10-16. DOI: 10.52684/2312-3702-2021-37-3-10-16 (rus.).

31. Klyuev V.D., Zhuravlev P.A., Zaitsev D.A. Cost estimation for the implementation of regional programs of capital repairs of apartment buildings. *Rationing and Remuneration of Labor in Construction*. 2019; 1:58-63. (rus.).

32. Klyuev V.D., Zhuravlev P.A., Evseev V.G. Using a qualimetric approach to assess the competitiveness of investment construction projects. *Rationing and Remuneration of Labor in Construction*. 2017; 11: 56-62. (rus.).

33. Sborshikov S.B. *Logistics of regulatory impacts in the investment and construction sector (theory, methodology, practice) : diss. ... doctor of economics sciences*. Moscow, 2012; 361. (rus.).

34. Popkov A.G., Igonin D.S. Logistic complex solutions of processes in the construction of city infrastructure. *BST: Bulletin of Construction Equipment*. 2018; 9(1009):44-45. (rus.).

35. Sborshikov S., Bobin A. Formal description model management of cluster structures in construction. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 251:05032. DOI: 10.1051/mateconf/201825105032

Received May 30, 2022.

Adopted in revised form on November 23, 2022.

Approved for publication on December 24, 2022.

BIONOTES: **Sergey B. Sborshikov** — Doctor of Economics Sciences, Professor, Head of the Department of Design; **Public Law Company “Single Customer in the field of construction” (PPK “Single Customer”)**; build. 1, 10 Sadovaya-Samotechnaya st., 127051, Moscow, Russian Federation; ID RISC: 431022, ORCID: 0000-0001-6802-2888; tous2004@mail.ru;

Natalia V. Lazareva — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Design; **Public Law Company “Single Customer in the field of construction” (PPK “Single Customer”)**; build. 1, 10 Sadovaya-Samotechnaya st., 127051, Moscow, Russian Federation; ID RISC: 808973, ORCID: 0000-0001-6802-2888; nata_0986@mail.ru.

Contribution of the authors:

Sergey B. Sborshikov — scientific guidance, research concept, methodology development, writing the source text, scientific editing, final conclusions.

Natalia V. Lazareva — processing of the material, conducting the study, revision of the text description of the results and formation of conclusions of the study.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Формирование методологии детерминированной модели организации строительного производства на основе концепции организационно-технологической платформы строительства

Азарий Абрамович Липидус¹, Роман Владимирович Мотылев²,
Владимир Вячеславович Сокольников²

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

² Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ); г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Вследствие активного развития цифровых технологий в 2000–2022 гг. создается возможность их использования для разработки теоретических моделей, инженерного проектирования, а также реализации производственных методов организации строительных работ (ОСР). Рассмотрено обоснование методологии детерминированной модели организации строительного производства (ОСП) работ, призванной устранить методический разрыв между теоретическими методами исследования и моделирования, инженерными методами проектирования и производственными методами реализации решений задач ОСП.

Материалы и методы. Для обоснования методологии детерминированной модели ОСП методами общей теории систем установлены отношения ключевых множеств элементов ОСП. Приведены подходы к формированию организационно-технологической платформы строительного производства и исследования в области организационно-технологической надежности строительства. Выполнена формализация элементов модели в виде совмещенной структурной блок-схемы методов, технологического и административного порядков, а также периодов ОСП. Представлена схема классификации теоретических моделей, применимых к исследованиям ОСП.

Результаты. Методология детерминированной модели ОСП обоснована в виде системы линейных уравнений для составляющих продолжительности возведения сооружения. Составляющие продолжительности строительства обусловлены структурной блок-схемой методов ОСП. Параметры и переменные уравнений отражают как единую организационно-технологическую платформу строительства и могут являться составляющими критерия соблюдения плановых сроков при оценке организационно-технологической надежности строительного производства.

Выводы. Методология детерминированной модели ОСП на основе концепции организационно-технологической платформы строительного производства — это структура алгоритмов координирования решений по ОСП, получаемых различными методами. Указанное координирование реализуется над множествами соотношений технологических и организационных параметров строительного производства по критерию прогнозируемого резерва времени на выполнение текущих технологических процессов и обеспечивающих инженерных мероприятий при имеющемся запасе ресурсов и времени по календарному графику.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: методология организации строительных работ, формализация системы организации строительного производства, организационно-технологическая платформа строительства, виды моделирования, теоретическая детерминированная модель организации строительного производства, структура методов организации строительного производства, продолжительность строительства

Благодарности. Статья публикуется по результатам научно-исследовательской работы, проводимой в рамках конкурса грантов работниками Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета в 2023 г. Авторы выражают благодарность рецензентам за полезные замечания.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Липидус А.А., Мотылев Р.В., Сокольников В.В. Формирование методологии детерминированной модели организации строительного производства на основе концепции организационно-технологической платформы строительства // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 1. С. 116–131. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.116-131

Автор, ответственный за переписку: Владимир Вячеславович Сокольников, vschief@yandex.ru.

Development of a methodology underlying a deterministic model of construction work arrangements on the basis of the concept of an organizational and technological platform for construction

Azariy A. Lapidus¹, Roman V. Motylev², Vladimir V. Sokolnikov²

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

² *Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU);
Saint Petersburg, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. Presently, intensively developing digital technologies can be contributed to theoretical models, engineering designs, as well as construction implementation methods. The article addresses the justification of a methodology underlying a deterministic model of construction work arrangements, designed to eliminate a methodological gap between theoretical methods of research and simulation, engineering methods of design and methods of implementing solutions to problems of construction processes.

Materials and methods. Relations between the key sets of elements of construction processes were identified to justify the methodology, underlying the deterministic model of construction arrangements, using methods of the general theory of systems. Approaches to development of an organizational and technological platform in the construction industry and researches in the field of organizational and technological reliability of construction processes are also provided. Model elements are presented as a consolidated block diagram of methods, technological and administrative procedures, as well as construction process periods. The authors present a system for classifying theoretical models that are applicable to construction process research.

Results. The methodology, underlying the deterministic model of construction process arrangements, is justified by a system of linear equations, describing construction process components. Construction process components are determined by the structural block diagram of construction process arrangement methods. Parameters and variables of equations convey a unified organizational and technological construction platform, and they can serve as a constituent of the criterion of meeting scheduled deadlines in the course of evaluating the organizational and technological reliability of the construction process.

Conclusions. The methodology, underlying the deterministic model of construction process arrangements, based on the concept of an organizational and technological platform of construction processes, represents a structure of algorithms designed to coordinate decisions concerning construction processes, obtained using various methods. This coordination is implemented using sets of ratios between technological and organizational parameters of construction processes and the criterion of predicted time reserves needed for the implementation of current processes and related engineering operations, given that resources and time are still available according to the construction schedule.

KEYWORDS: construction work arrangement methodology, formal representation of a construction process arrangement system at the construction site, organizational and technological platform for construction, types of modeling, theoretical deterministic model of construction process arrangement on a construction site, structured methods of arranging construction processes, duration of construction

Acknowledgements. The article demonstrates research findings obtained by the employees of the St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering within the framework of a grant-based undertaking in 2023. The authors also express their gratitude to reviewers for their helpful comments.

FOR CITATION: Lapidus A.A., Motylev R.V., Sokolnikov V.V. Development of a methodology underlying a deterministic model of construction work arrangements on the basis of the concept of an organizational and technological platform for construction. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(1):116-131. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.116-131 (rus.).

Corresponding author: Vladimir V. Sokolnikov, vschief@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Вследствие активного развития цифровых технологий в 2000–2022 гг. создается возможность их использования для разработки теоретических моделей, инженерного проектирования, а также эффективной реализации производственных методов организации строительного производства (ОСП) при возведении объектов капитального строительства (далее — объекта). Статья посвящена обоснованию методологии детерминированной модели ОСП, призванной устранить методический разрыв между теоретическими методами исследования и моделирования, инженерными методами проектирования и производственными

методами реализации ОСП как в масштабах стройплощадки объекта, так и осуществления локальных технологических процессов в проектных отметках текущей строительной готовности сооружения. Указанный методический разрыв возникает из-за различия задач ОСП, последовательно решаемых на трех этапах жизненного цикла (ЖЦ) объекта: организационно-технологическое проектирование возведения сооружения, организационно-техническая подготовка строительства и выполнение технологических процессов в отметках текущей строительной готовности. Исследованиями в области моделирования и организационно-технологического проектирования, оценки надежности различных аспектов строительной дея-

тельности занимались многие отечественные авторы. Данные исследования проводились с целью решения локальных задач проектирования строительных процессов [1], планирования строительства [2], ресурсного обеспечения [3], проектной и организационно-технической подготовки строительного производства [4], строительства [5–7], организационно-технологических решений [8]. Публикаций, посвященных проблеме структурирования и координирования получаемых решений локальных задач в единую методологию ОСП, действующей на этапах проектирования, подготовки и производства СМР, в методологию, позволяющую своевременно выявлять и минимизировать влияние на ОСП негативных факторов, возникающих на стыках решения проектных и производственных задач, авторами в доступных источниках не обнаружено. Вместе с тем наиболее резонансные негативные события в строительной отрасли в последнее время: обрушение здания СКК «Петербургский» при демонтаже покрытия в 2020 г.; долгострой стадиона «Зенит Арена»; значительные трудности, возникшие при монтаже комплекса металлоконструкций купола, башни панорамного лифта, обзорной площадки делового центра «Невская ратуша» в 2013 г. (в последнем случае авторы принимали непосредственное участие в проектировании организации, а также в сопровождении работ), вызваны причинами, возникающими в различные периоды строительства и внешне никак не связанными. Это обстоятельство, а именно — отсутствие методологии выявления, оценки и минимизации влияния факторов срыва строительства по организационным и технологическим причинам, заставляет по-новому подойти к пониманию ОСП, являющейся фактором организационно-технологической надежности строительства на этапах проектной подготовки и производства СМР ЖЦ объекта. Если в случае с долгостроем стадиона «Зенит Арена» имело место кратное превышение плановых сроков строительства, вызванное, в том числе, ограниченными возможностями методов календарного планирования работ при возведении уникальных сооружений¹, то при обрушении СКК отмечается неправильная организация работ, обусловленная и недостатками организационно-технологической документации, осуществлявшимся порядком производства работ и строительного контроля, приведшими к перераспределению и развитию разрушающих усилий в конструкциях² (рис. 1).

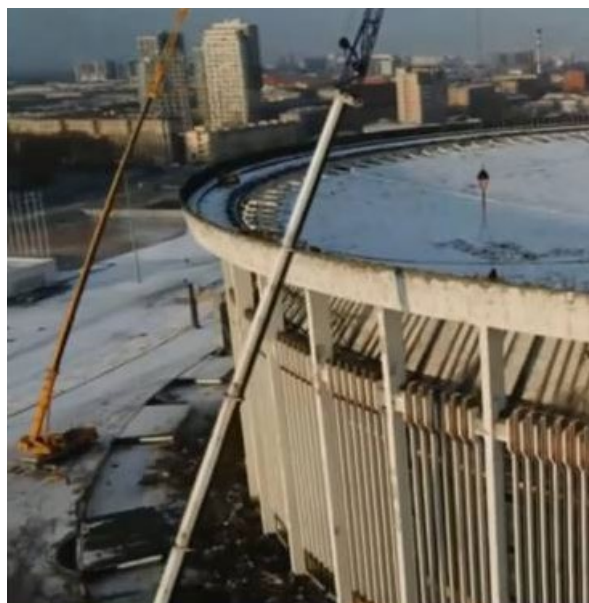


Рис. 1. СКК им. В.И. Ленина в Санкт-Петербурге. На участке 10 % длины периметра несущего железобетонного (ЖБ) кольца здания обрезано 12 соседних узлов крепления вант неразгруженного покрытия

Fig. 1. The Lenin Arena in St. Petersburg. 10 % of the perimeter length of its reinforced concrete bearing structure has 12 stay cable anchorages missing

При монтаже 900 т металлоконструкций на объекте «Невская ратуша» имелись нерациональные увязки в единый порядок возведения комплекса металлоконструкций и ЖБ конструкций основного корпуса здания, допущенные в период разработки организационно-технологической документации³.

При всем различии факторов, возникших на разных этапах строительства каждого из объектов в представленных выше примерах и приведших к срывам строительного процесса, допущенное негативное влияние этих факторов является следствием общей причины, которую можно охарактеризовать как недостаточная «организационно-технологическая надежность» строительного производства. Из анализа рассмотренных примеров следует, что при строительстве объектов имели место игнорирование принципов строительной механики при проектировании и выполнении работ по демонтажу, а также требований строительного контроля (рис. 1); недостаточное качество

¹ Автор В.В. Сокольников принимал участие в рассмотрении на кафедре организации строительства СПбГАСУ материалов комитета по строительству Правительства Санкт-Петербурга в части демонтажа выполненных и устройства по измененным в ходе строительства проектным решениям несущих ЖБ колонн трибун, неофициально предоставленных на тот момент сотрудником кафедры доктором технических наук, профессором В.М. Комовым. Расчет продолжительности (в нормативах ЕНиР и аналогичных) выполнения техпроцессов для объемно-планировочных и конструктивных решений стадиона очевидно вызывает значительные трудности.

² Проект организации работ по сносу или демонтажу объектов капитального строительства. СКК-Э1-ПОД1. Том 7.1. Анализ видео обрушения в 2020 г. СКК им В.И. Ленина в Санкт-Петербурге в ходе сноса кровли. URL: https://www.youtube.com/watch?v=M-Fbnmd_2NQ

³ 02.06.02/3/03-ППР. 47-12. Проект производства работ по монтажу металлоконструкций «Невская ратуша».

проектной и организационно-технологической документации в части определения сроков работ по возведению стадиона «Зенит Арена», а также нерациональная технологическая последовательность возведения надземной части корпуса 1 комплекса «Невская ратуша» (рис. 2). Но, учитывая то обстоятельство, что в настоящее время понятие «организационно-технологическая надежность» исследуется на вероятностных моделях, а инженерные и производственные методы ОСП оперируют детерминированными параметрами технологических процессов строительной готовности, обеспечивающих и контрольные мероприятия, устранение названного методологического разрыва возможно на основе концепции «организационно-технологической платформы» [9] строительного производства. Согласно работе [9]: «...На сегодняшний день возникла необходимость создать новый формат взаимоотношений участников и использования вовлеченных трудовых и материальных ресурсов в течение всего жизненного цикла реализации строительного объекта, начиная от идеи его создания и заканчивая утилизацией». Требуется ввести, обосновать и разработать универсальный инструмент, позволяющий



Рис. 2. Установка на отметке +44,7 м объекта «Невская Ратуша» 32 т специальной технологической оснастки для монтажа 24 пар составных 5-тонных элементов металлоконструкций купола покрытия атриума, диаметр 28 м. Проектировщики: доктор технических наук Л.М. Колчеданцев (справа), кандидат технических наук В.В. Сокольников, кандидат технических наук А.Д. Дроздов (СПбГАСУ)

Fig. 2. Installation of 32 tons of fixtures needed to assemble 24 pair of composite 5-ton elements of metal structures of the dome covering the atrium of the Nevsky Town Hall building (28 m in diameter) at a height of +44.7 m. Designers: L. Kolchedantsev, Doctor of Engineering Sciences (on the right), V. Sokolnikov, Candidate of Engineering Sciences, A. Drozdov, Candidate of Technical Sciences, SPbGASU

оптимизировать реализацию крупномасштабных инвестиционно-строительных проектов (ИСП). Методологической основой построения части такого инструмента, действующей на этапах разработки организационно-технологической документации (ПОС, ППР), а также выполнения строительных технологических процессов, т.е. одним из путей построения модели организационно-технологической платформы, функционирующей в период возведения объекта, может стать разработка детерминированной модели организации строительного производства. Вынесенное в название статьи понятие концепции организационно-технологической платформы строительства, действующее на этапах проектирования и выполнения строительных работ, включает моделирование и интегральные оценки организационно-технологических решений строительного производства [10–12], информационные ресурсы строительства [13], а также структуру теоретических детерминированных моделей, включая модель организации строительного производства в условиях чрезвычайной ситуации [14], и основанных на них методов, позволяющих скоординированно решать задачи ОСП различными участниками строительства на различных этапах ЖЦ объектов. Следовательно, использование методологии организации работ на основе концепции организационно-технологической платформы строительного производства, охватывающей как период проектной подготовки, так и период выполнения технологических процессов в изменяющихся проектных отметках текущей строительной готовности объекта, вместо применения разрозненных расчетных методов и эмпирических решений представляется обоснованным и перспективным подходом к построению структуры и разработке теоретических моделей как основы инженерных методов расчета параметров ОСП, прежде всего продолжительностей техпроцессов и их комплексов, рациональных размеров частных фронтов при различных объемно-планировочных и конструктивных решениях сооружений, численного состава бригад, темпа строительных работ, критериев и алгоритмов координирования оперативных действий участников ОСП. В качестве методологии ОСП может быть предложена структура детерминированной модели организации строительных работ (далее — модель ОСП). Методология детерминированной модели ОСП, опирающаяся на концепцию организационно-технологической платформы строительного производства, позволит создать структуру моделей, описывающих соотношения ранее указанных параметров ОСП и основанных на них методов скоординированного решения задач организации как приобъектного строительного производства, так и осуществления технологических процессов непосредственно на монтажных ярусах и захватках объекта. Структура модели ОСП, а также входящие в ее состав параметрически

связанные теоретические и инженерные модели соотношений параметров ОСП должны объяснять с необходимой точностью зависимость текущего результата строительного процесса, т.е. величину текущей строительной готовности сооружения и скорость ее приращения от параметров решения групп задач ОСП 1–9 (см. далее) различными участниками строительства в периоды проектирования, подготовки и выполнения строительных работ. При таком подходе преодолевается методический разрыв детализации описаний и решений задач ОСП в теоретических исследованиях, моделировании, в инженерных задачах проектирования и в производственные периоды подготовки и возведения сооружения.

Таким образом, объектом исследования является методология детерминированной модели ОСП. Предмет исследования — структура детерминированной модели соотношений параметров ОСП, удовлетворяющих концепции организационно-технологической платформы строительства; параметры детерминированной модели ОСП; параметры и критерии организационно-технологической платформы строительства. Цель исследования — формирование и обоснование методологии ОСП в форме построения структуры методов детерминированной модели ОСП, удовлетворяющей концепции организационно-технологической платформы строительства. Задачи, которые предстоит решить, — обоснование параметров и логических связей структуры детерминированной модели ОСП, организационно-технологической платформы ОСП. Обоснование выполняется методами общей теории систем, формальной логики на основе комплексного анализа инженерных методов проектирования и реализации технологии и организации строительного производства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На эффективность реализации концепции организационно-технологической платформы строительного производства в рамках ЖЦ ИСП в период строительных работ существенно влияют два фактора: методология описания (моделирования) строительного производства, а также программные средства коммуникации участников, оборота, хранения, алгоритмической обработки и представления данных о состоянии решения актуальных производственных задач. Первый из указанных факторов — методология описания строительного производства служит определяющим для выбора (разработки) соответствующих информационных сервисов, реализующих теоретическую модель. Структура из некоторого числа теоретических моделей решений групп задач и соответствующих им сервисов, функционирующая в различные периоды реализации ИСП, и будет являться моделью организационно-технологической платформы строительства в период возведения со-

оружения. Поскольку на этапах ИСП «разработка организационно-технологической документации» и «возведение сооружения» участниками строительства рассматривается система из конечного числа детерминированных параметров стройплощадки, текущей строительной готовности сооружения, технологических процессов, ресурсного обеспечения и строительного контроля, то и методология детерминированной модели ОСП базируется на детализации и структурировании системы множеств тех же параметров. Множества текущих значений перечисленных параметров и их соотношений фиксируются участниками с целью обеспечения непрерывности, темпа, продолжительности и качества строительных работ, что и определяет как саму систему параметров и методов теоретической модели, так и алгоритмические компоненты системы ОСП. С позиций системного подхода [15, 16] для обоснования концепции модели ОСП требуется, прежде всего, формулировка целей и соответствующих им задач организации строительных работ, выполненных в параметрах требующихся решений. Как было сказано ранее, целями ОСП, как части организационно-технологической платформы, в период возведения сооружения являются: обеспечение непрерывности, темпа, продолжительности и качества строительных работ как в масштабах всего сооружения, так и в отметках текущей строительной готовности. Также необходимо привести определения понятий «модель», «организация строительного производства», «организации строительных работ» в терминах решений задач ОСП. Следующий шаг при системном подходе предусматривает разработку моделей и методов решения сформулированных задач (достижения целей) ОСП в отметках текущей строительной готовности и строительного производства в целом.

Согласно методам общей теории систем [15], инженерное определение системы организации строительного производства до начала строительных работ будет таким:

$$\begin{cases} \exists Obj_{OrgSP} \subseteq \{\{KP\} \cup \{SGP\}\} \times \{T_{smr}\}, \\ \exists \{Obj_{OrgSP}\} : Org\{\{Teh_proc\}; \{Serv\}\} \rightarrow \{T_{Teh_proc}\}, \end{cases} \quad (1)$$

где $\{Obj_{OrgSP}\}$ — множество параметров проектных решений возводимого сооружения; $\{KP\}$ — множество параметров календарного плана; $\{SGP\}$ — множество параметров стройгенплана; T_{smr} — продолжительность строительно-монтажных работ (СМР), дни; $Org\{\{**\}\}$ — оператор (правила организации — порядок выполнения техпроцесса (Teh_proc) и обеспечивающих мероприятий и их ресурсного обеспечения ($Serv$)); T_{Teh_proc} — продолжительность выполнения комплекса техпроцессов, дни.

В свою очередь инженерное определение системы организации строительного производства в период выполнения СМР запишется так:

$$\left\{ \begin{array}{l} \exists T_{smrProj_otm} \subseteq \{ \{KP\} \cup \{Teh_proc\} \cup \{Serv\} \times \{Obj_{Proj_otm}\} \}, \\ \exists \{Teh_hroc_{proj_otm}\} : Org_{proj_otm} \{ \{RM\}; \{ \{Serv\} \} \} \rightarrow \{ Konst_{proj_otm} \}, \end{array} \right. \quad (2)$$

где $T_{smrProj_otm}$ — продолжительность выполнения техпроцессов в проектных отметках, дни; $\{KP\}$ — множество параметров календарного плана; $\{Teh_proc\}$ — множество параметров техпроцесса; $\{Obj_{Proj_otm}\}$ — множество параметров сооружения в конкретных проектных отметках; $Org\{RM\}$ — оператор (правила организации рабочих мест и порядка выполнения техпроцесса, обеспечивающих мероприятий и их ресурсного обеспечения ($Serv$) в конкретных проектных отметках); $\{Konst_{proj_otm}\}$ — множество параметров конструкции в проектном положении.

Первое выражение в формуле (1) устанавливает факт, что в период до начала работ результатом построения системы ОСП является $\{T_{smr}\}$ — множество параметров расчетной продолжительности строительства, декартово произведение которого и множества стройгенплана и календарного графика описывает проектные решения всего сооружения. Второе выражение в формуле (1) устанавливает факт, что следствием множества параметров организации выполнения техпроцессов и обеспечивающих мероприятий является множество параметров продолжительностей выполнения техпроцессов на всем сооружении. Выражения в формуле (2) показывают, что в основной период строительства система ОСП кардинально меняется: если до начала работ система ОСП имела целью обосновать продолжительность строительства и отдельных техпроцессов и их комплексов, то в основной период система ОСП при заданных параметрах продолжительностей техпроцессов $T_{smrProj_otm}$, соответствующих конструкциям в конкретных проектных отметках, имеет результатом множества параметров выполнения техпроцессов, рабочих мест и обеспечивающих мероприятий. Выражения (1) и (2) формализуют две ключевые проблемы общей теории систем [15]. Первая основная проблема теории систем (построение) — первые выражения в формулах (1) и (2): «Как при заданных целях и ограничениях построить систему организации строительного производства, которая успешно их удовлетворит?». Эти выражения — статическое определение системы, действующее в период до начала СМР. Вторая главная проблема (управление) — вторые выражения в формулах (1) и (2): «Как при заданном назначении системы управлять ею и модифицировать ее, чтобы получить динамическую устойчивость?». Эти выражения — динамическое определение системы, действующее в основной период строительных работ. В случае концепции организационно-технологической платформы ОСП задачи–цели ОСП в инвестиционные периоды подготовки и возведения сооружения, согласно работе [9], следующие:

1. Обеспечение законности строительных работ, а также последующей эксплуатации законченного строительством сооружения.
2. Минимизация как числа опасных факторов строительного производства, так и степени их влияния на ход выполнения работ.
3. Рациональное использование людских ресурсов, а также расходования материально-технических ресурсов.
4. Возможное сокращение продолжительности строительства.
5. Обеспечение выполнения плановых сроков строительства.
6. Установление и поддержание максимального соответствия пространственной и хронологической последовательности выполнения техпроцессов объемно-планировочным и конструктивным проектным решениям сооружения.
7. Установление и поддержание максимального соответствия порядка ресурсного обеспечения строительного производства порядку осуществления техпроцессов в проектных отметках текущей строительной готовности сооружения.
8. Обеспечение выполнения требований строительного контроля.
9. Алгоритмизация и координирование актуальных процессов посредством коммуникации их исполнителей.

Перечисленные задачи предметно формулируются различными участниками строительства и решаются с помощью разных правовых, нормативно-административных, технологических, инженерных и производственных методов, соответствующих целям участников строительства в различные периоды подготовки и возведения сооружения. При этом под *организацией строительного производства* понимается обеспечение ресурсами и проектной документацией, выполнение обеспечивающих инженерных мероприятий, строительного контроля, скоординированное средствами коммуникации исполнителей и алгоритмами обработки плановых и текущих значений параметров функционирования приобъектного строительного хозяйства. В свою очередь, под *организацией строительных работ* понимается пространственная, технологическая и календарная последовательность выполнения технологических процессов в актуальных проектных отметках текущей строительной готовности сооружения. Под организационно-технологической платформой строительства в период возведения сооружения, детализируя определение, данное применительно к концепции детерминированной модели ОСП, следует понимать степень ответственности:

- 1) параметров выполнения технологических процессов объемно-планировочным и конструктивным проектным решениям в конкретных проектных отметках сооружения, а также положениям организационно-технологической документации и параметрам строительного контроля;
 - 2) параметров реализации технологических процессов и функционирования строительного производства методическим и техническим средствам оперативного управления работами и строительным производством;
 - 3) алгоритмов оперативного установления иных соотношений параметров выполнения технологических процессов и их ресурсного обеспечения при прогнозировании или выявлении их отклонений от требуемых средств оперативной реализации;
 - 4) методов устранения выявленных отклонений до значений, соответствующих минимальным периодам потерь времени, не влияющим на сроки возведения объекта и качество СМР.
- Таким образом, концепция детерминированной модели ОСП обосновывается номенклатурой задач

1–9 ОСП, различными сочетаниями их четырех (1–4) групп соотношений, в общем случае различной размерности, которые и определяют успешность решений задач организации строительных работ. Структура такой модели должна позволять в явном виде устанавливать зависимости выполнения плановых сроков и качества СМР от организационных и технологических параметров: подготовки строительного производства; реализации технологических процессов и обеспечивающих инженерных мероприятий в условиях ограничений имеющейся строительной готовности; их ресурсного обеспечения; оперативного управления ходом работ и поставок; а также от требований строительного контроля.

Последнее определение, которое следует дать для обоснования концепции детерминированной модели ОСП, это «модель ОСП». Для научного определения понятия «модель ОСП» необходимо разработать схему видов моделирования, различные сочетания которых при решении задач 1–9 ОСП и позволят атрибутировать как саму детерминированную модель ОСП, так и частные модели в ее структуре.

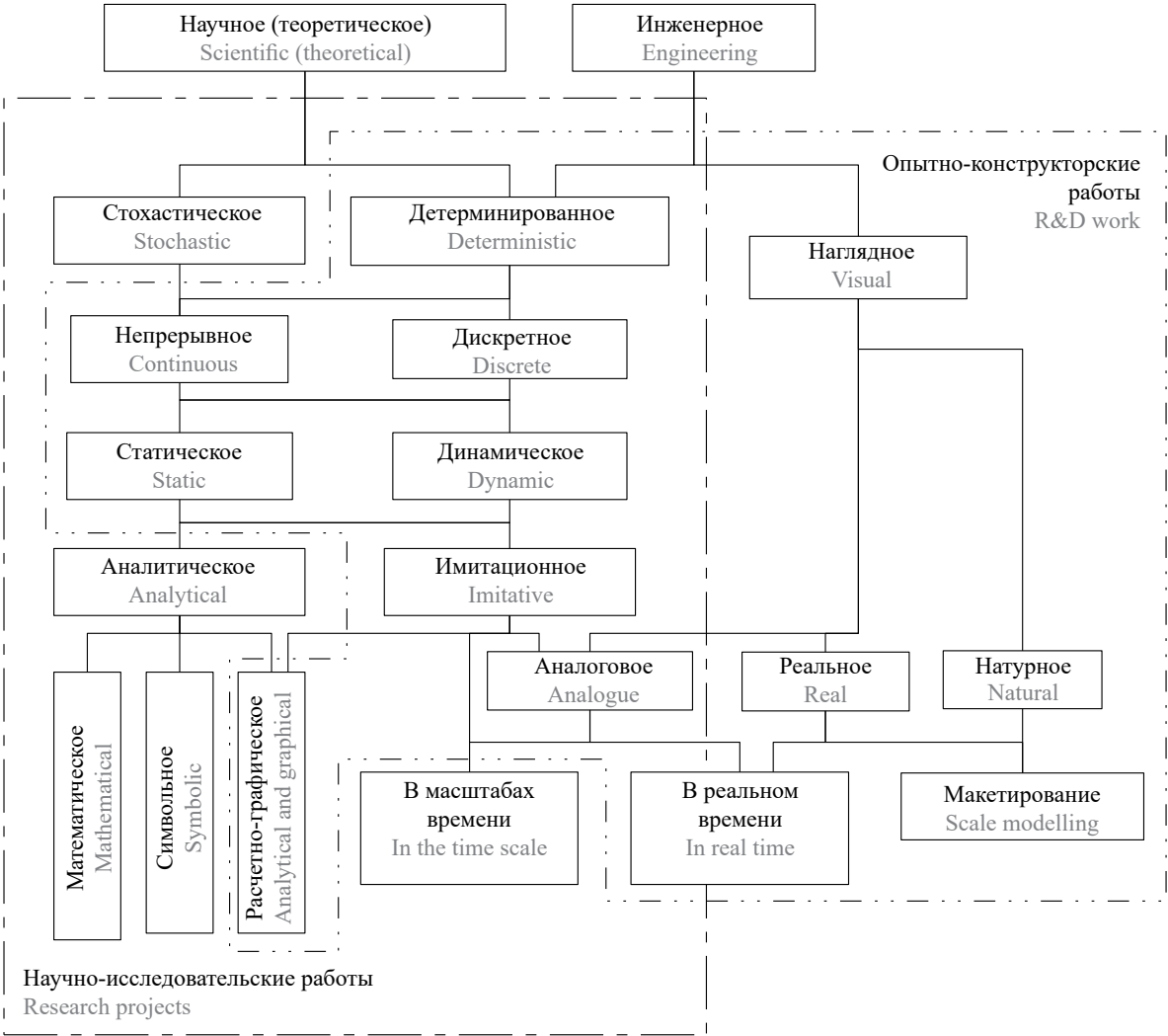


Рис. 3. Схема видов моделирования
Fig. 3. Diagram of modelling types

Таким образом, тип теоретической модели ОСП обуславливается видами моделирования, выполняемыми с ее помощью при решении задач 1–9 ОСП. На рис. 3 представлена доработанная авторами схема классификации видов моделирования [17].

На основании схемы (рис. 3) теоретическая модель ОСП будет классифицироваться как «... неполная, детерминированная, дискретная, статическая». Неполная — так как будет дополняться в результате исследований частными моделями и методами решений актуальных (групп) задач 1–9 ОСП. Детерминированная модель ОСП соединяет научное и инженерное моделирование с производственными методами решения задач ОСП и приобъектного строительного производства при возведении объектов. Если научное моделирование на основе подобию принятых характеристик модели фактическим характеристикам реального объекта представляет собой процесс установления зависимостей, а также границ изменений свойств объекта при изменениях в заданных диапазонах значений отдельных параметров объекта, или среды, то инженерное моделирование, или вариантное проектирование, является расчетно-графическим обоснованием свойств объекта методами существующих технологий. В отличие от научного моделирования, когда результат неизвестен заранее, вариантное проектирование обеспечивает заданные (нормативные) параметры решений. В зависимости от требований к точности решения задачи, а также в соответствии со схемой на рис. 3 каждая частная модель в составе детерминированной модели ОСП может атрибутироваться как научная или инженерная, полная, неполная или приближенная, и далее по совокупности выполняемых с ее помощью различных видов моделирования.

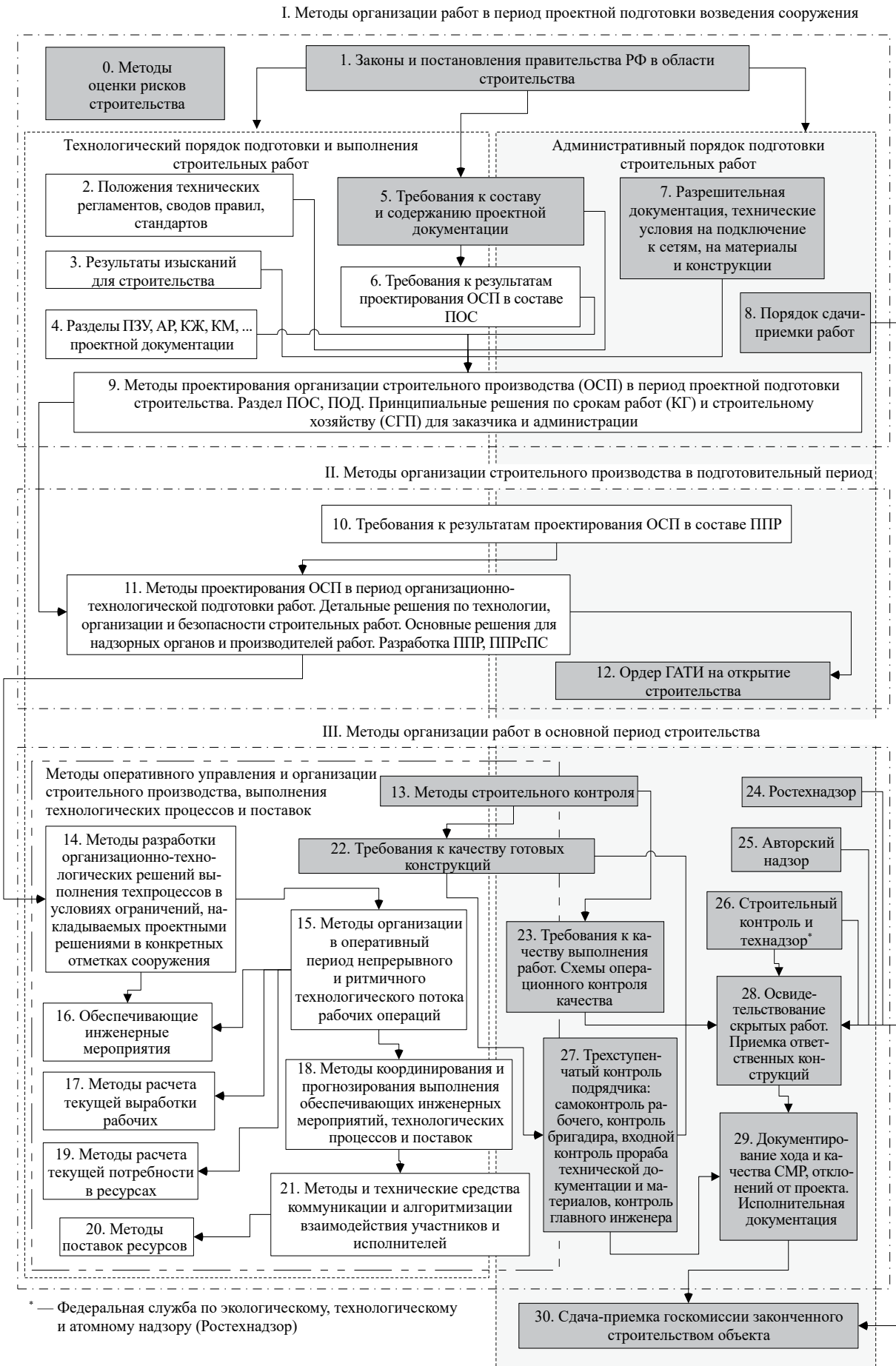
Теоретические решения задач ОСП, получаемые с помощью модели ОСП, и соответствующие им производственные методы организации работ, охватываемые концепцией организационно-технологической платформы, находятся в диапазоне от «количественная оценка уровня ОСП на момент определения подрядчика строительства» до «ОСП выполнения текущих технологических процессов в условиях ограничений, накладываемых проектными решениями сооружения в отметках текущей строительной готовности сооружения». То есть модель ОСП должна, как минимум, позволять устанавливать в явном виде соответствие решений организационно-технологической документации проектным решениям сооружения, а также соответствие методов оперативного управления строительным производством порядку реализации текущих технологических процессов в конкретных проектных отметках и их ресурсного обеспечения в установленные сроки. Сама модель ОСП, т.е. структура частных моделей и методов решения задач 1–9 организации, поможет устанавливать по мере необходимости в явном

виде зависимость приращения величины текущей строительной готовности сооружения от величин параметров всех вышеперечисленных компонентов модели ОСП. Зависимость необходима для алгоритмизации координирования и краткосрочного прогнозирования хода строительства при разработке соответствующего программного обеспечения информационной модели объекта на период его возведения. Описанная детерминированная модель позволит решать вопросы организации работ методами, обоснованными единой концепцией организационно-технологической платформы строительного производства в периоды как проектной подготовки, так и в период проведения СМР.

Отталкиваясь от общего определения модели, получим следующее нужное нам определение: «Модель ОСП — это структура соотношений расчетных и текущих значений параметров выполнения технологических процессов в проектных отметках текущей строительной готовности объекта, параметров функционирования строительного производства, параметров строительного контроля, а также параметров выполнения инженерных обеспечивающих мероприятий и оперативного управления строительным производством, определяющая соответствие этих соотношений требуемым значениям решений задач 1–9 (см. выше) организации строительного производства».

Теперь с целью формализации методологии детерминированной модели ОСП на основе данного определения модели ОСП и перечисленных задач 1–9 ОСП можно разработать структуру методов их решения, координируемых алгоритмами логических связей блоков схемы (рис. 4). Структура методов и каждый ее блок, в свою очередь, определяют структуру частных моделей в составе организационно-технологической платформы строительного производства или, что то же самое, структуру *детерминированной модели* ОСП. Следовательно, предметной основой параметров организационно-технологической платформы строительного производства являются логические и численные значения главных положений правовых, нормативно-административных, технологических, производственных и управленческих методов подготовки и выполнения строительных работ и обеспечивающих мероприятий, а также их логические связи, позволяющие устанавливать и координировать единый порядок решения главных задач 1–9 ОСП.

На рис. 4 представлена блок-схема структуры методов решения задач 1–9 (см. выше) в методологии детерминированной модели ОСП на основе концепции организационно-технологической платформы строительства. Указанная схема выделяет и связывает между собой методы, реализующие технологический и административный порядок ОСП, совместно с методами управления в периоды организационно-технологического проектирования,



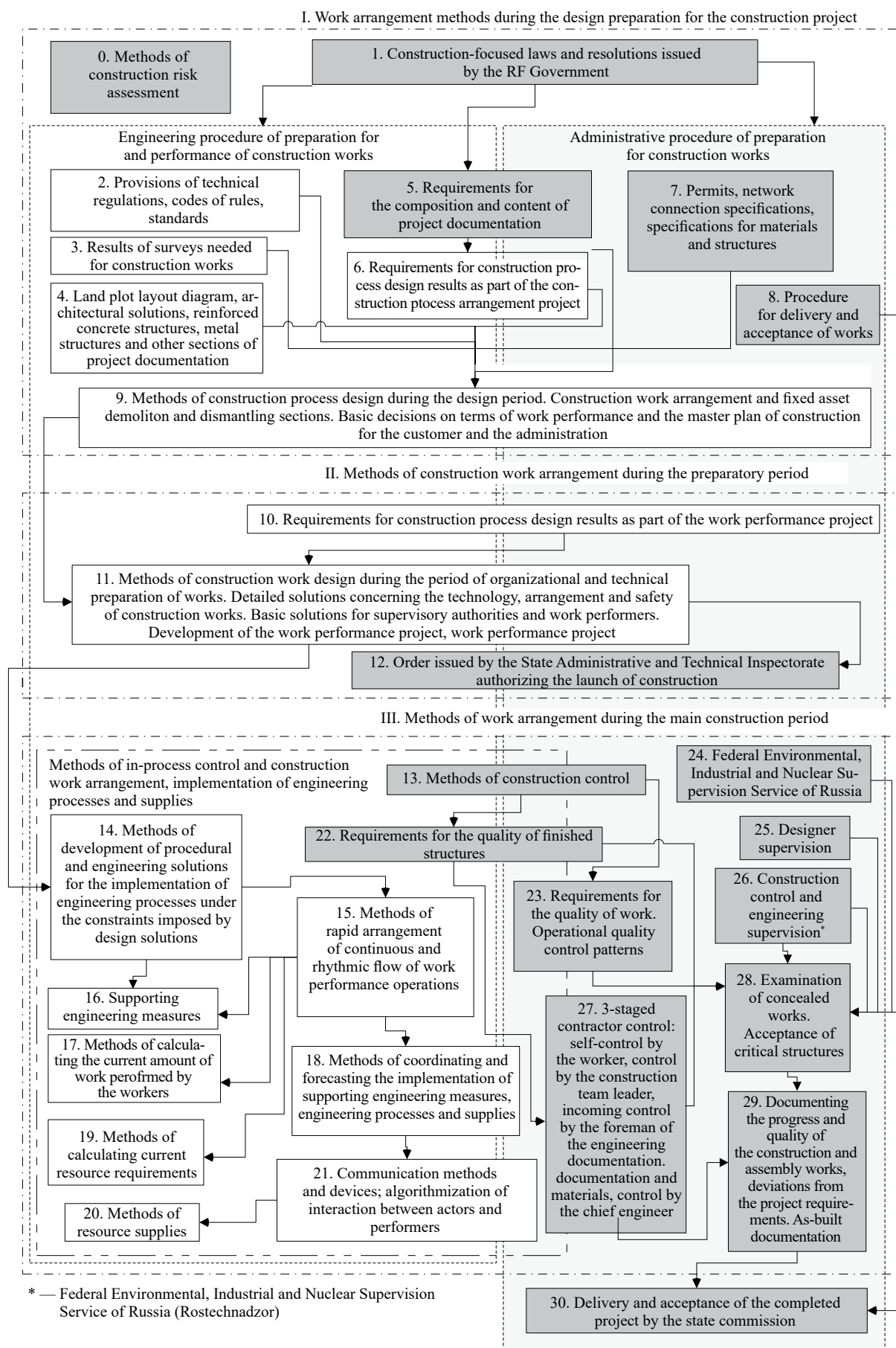


Рис. 4. Структурная схема методов детерминированной модели ОСП

Fig. 4. A block diagram of the methods of a deterministic model of the organization of construction production

подготовки и реализации строительно-монтажных работ в составе ИСП. Разработанные на основе частных теоретических моделей методы решения задач 1–9 ОСП, названные в блок-схеме на рис. 4, содержат алгоритмы и технические средства, позволяющие удовлетворить перечисленным в публикации [9] требованиям. А именно:

- обеспечивать успешное выполнение поставленных в проекте задач;
- опираться на внешнюю и внутреннюю среду проекта;
- осуществлять постоянный мониторинг состояния проекта;
- устранять возникающие ошибки;
- применяя технологии информационного моделирования, оцифровать процессы и ресурсы проекта;
- защищать цифровые данные.

Сразу следует отметить, что каждое из многообразных сочетаний цепочек логических связей различных блоков структуры на рис. 4 (что соответствует синтезируемым в исследованиях методам решения (групп) задач 1–9 ОСП) предполагает дальнейшую детализацию методом построения диаграмм потоков данных (data flow diagram — DFD). Цель такой детализации — реализация в цифровом виде как полученного теоретического метода решения задачи, так и группы инженерных и производственных методов ОСП, связанных теоретической моделью.

Приведенная на рис. 4 блок-схема является основной формализацией методологии моделирования, построения частных моделей в составе модели ОСП, а также разработки методов решений задач 1–9 организации строительного производства. Темным цветом на схеме выделены методы организации работ, относящиеся в основном к правовым и административным методам, которые в случае научного или инженерного моделирования (см. рис. 3) должны быть формализованы как граничные условия частных моделей. Именно скоординированность (соотношения) параметров методов, сгруппированных в блоках 6, 9–11, 14–21, составляет принципиальное существо ОСП. Сами методы могут сочетать частные решения различных актуальных задач, содержащихся в блоках 6, 9–11, 14–21 схемы (рис. 4) и связанных требуемым общим результатом, что и определит необходимые виды моделирования согласно схеме на рис. 3. В свою очередь требуемые виды моделирования позволят атрибутировать и классифицировать актуальную к разработке частную теоретическую или инженерную модель решения групп задач ОСП. В зависимости от решаемых задач детерминированная модель ОСП оперирует как нормативными параметрами ЕНиР (Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы, 1986), ТЕР (Территориальные единичные расцен-

ки, 2000), описаниями технологических процессов (блоки 9–11, 17, 19 схемы на рис. 4), так и представлениями механики о движении масс конструкций под действием распределенной системы сил (блоки 14, 15 схемы на рис. 4) — монтажных усилий, определяющих скорость технологического потока. Кроме этого, при организации выполнения технологических процессов в конкретных проектных отметках часто следует учитывать усилия, возникающие в конструкциях во время работ. Как было сказано выше, наиболее актуальными объектами моделирования могут быть различные сочетания решений актуальных задач организации строительного производства, содержащихся в блоках 6, 9–11, 14–21 схемы (рис. 4). В литературе [18, 19] приведены примеры частных математических моделей решения задач 1–9 организации строительного производства, обосновывающие некоторые методы блоков 6, 9–11, 14–21 при граничных условиях, формируемых методами блоков 5, 7, 8, 13, 22–30 схемы рис. 4. Кроме реализации частных моделей блоков схемы (рис. 4), в работе [20] поднимаются вопросы реализации коммуникации методов, реализуемых в блоках схемы (рис. 4) методами информационного моделирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Учитывая то обстоятельство, что расчетная (плановая) продолжительность строительства зависит от соотношений параметров детерминированной модели и групп задач из состава 1–9 (см. выше), получим следующее определение модели ОСП в виде системы линейных уравнений:

$$\begin{cases} T_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4, \\ T_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4, \\ T_3 = a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + a_{34}x_4, \\ T_4 = a_{41}x_1 + a_{42}x_2 + a_{43}x_3 + a_{44}x_4, \end{cases} \quad (3)$$

где T_1 — плановая продолжительность выполнения технологических процессов; T_2 — затраты времени на обеспечение безопасности и рациональных методов выполнения работ, а также обеспечивающих инженерных мероприятий; T_3 — максимальная продолжительность принятия решений по порядку обеспечивающих инженерных мероприятий и корректирующих воздействий; T_4 — максимальная продолжительность реализации обеспечивающих инженерных мероприятий и корректирующих воздействий; x_1 – x_4 — переменные частной модели решения (группы) задач из состава 1–5 организации строительного производства; a_{ij} — актуальные соотношения параметров частной модели решения группы задач организации строительного производства из состава детерминированной модели ОСП.

Главный определитель системы (1) может служить в качестве количественной оценки уров-

ня ОСП. Таким образом, на основании выполненного определения ОСП возможно решение «прямой» и «обратной» задач ОСП. Прямая задача: «При имеющихся соотношениях параметров организации строительного производства, а также расчетной продолжительности строительства требуется оценить уровень ОСП в период предстоящего строительства». И обратная: «При требуемом уровне ОСП и соотношениях параметров организации строительного производства требуется оценить продолжительность строительства». Автоматизированное решение в режиме оперативного управления строительством обеих указанных задач ОСП позволит своевременно предпринимать меры по выдерживанию календарных сроков реализации отдельных технологических процессов в актуальных проектных отметках.

2. Теоретически обоснована и в явном виде формализована детерминированная модель организации строительных работ ОСП. Формализация проведена в виде профильных предметных определений понятий «модель», «моделирование», «организация работ», «организация строительного производства», а также списка главных задач организации строительного производства, блок-схемы видов моделирования (рис. 3), блок-схемы методов организации строительных работ (рис. 4), аналитических выражений (1) и (2) и системы уравнений (3). Указан диапазон уровней детализации и параметров решений задач ОСП. Соответственно, методология детерминированной модели ОСП основывается на группах теоретических моделей, связывающих инженерные и производственные методы решения актуальных задач организации и оперативного управления строительным производством.

3. На основе выполненного анализа и предметных определений ключевых понятий модели ОСП выявлены «прямая» и «обратная» задачи методологии детерминированной модели ОСП, а также показана целесообразность разработки автоматизированных методов их решения.

4. Учитывая означенные выше широкий диапазон, многофакторность задач и методов детерминированной модели ОСП (рис. 4), частные теоретические научные и инженерные модели также могут соединять в себе методы в диапазоне от аналитических методов механики, высшего анализа и методов общей теории систем до прямых аналогий, табличных заданий функций, экспертных оценок и эмпирических наблюдений значений параметров, предусмотренных методами моделирования на частных моделях и структурой детерминированной модели ОСП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируя зарубежные источники на предмет развития идеи формирования теоретической организационно-технологической платформы разработки частных моделей организации работ для различных участников строительства, можно прийти к заключению, что и ранее, и в настоящее время такой подход нехарактерен для зарубежной строительной науки. Вместе с тем отдельные близкие задачи рассматриваются в публикациях, посвященных следующим глобальным проблемам строительной отрасли: менеджменту строительных проектов [21–24], рискам строительства [25], проблеме принятия решений на основе построения аналитических сетей [26], а также многофакторных платформ [27], фундаментальной теории и ключевым технологиям оптимального производства в перерабатывающей промышленности [28], безопасности информационной модели распределенного производства [29]. Но зарубежные публикации, в том числе и указанные выше, главным образом рассматривают подходы к решениям перечисленных проблем на основе экономических критериев, администрирования и менеджмента, не затрагивая организационные и технологические методы снижения рисков, совершенствования организации строительного производства, и повышения эффективности управления.

В заключение отметим следующее:

1. Концепция организационно-технологической платформы строительства позволяет на основе выделения из ЖЦ объекта капитального строительства трех последовательных этапов: проектной подготовки, организационно-технической подготовки и производства СМР, формализовать единую структуру (конечного числа групп) методов решения задач ОСП на этих этапах, которая является основой методологии детерминированной модели ОСП. Таким образом, концепция организационно-технологической платформы строительства на методологическом уровне связывает методы решения задач организации строительного производства в различные периоды подготовки и возведения объектов и принципиально обосновывает необходимость и возможность разработки алгоритмически скоординированных между собой методов решений административных, управленческих, проектных и технологических задач по прогнозируемым значениям ключевых параметров, которые формализованы в концепции платформы (см. в настоящей статье и в работе [9]).

2. Развитием концепции на основе представления теоретической модели организационно-технологической платформы строительства в виде функционала, определенного на семействе функций, явилось обоснование и определение в составе детерминированной модели ОСП выражения для целевой функции продолжительности строитель-

ства в виде системы уравнений (3), детерминант которой устанавливает величину и размерность одного из параметров организационно-технологической платформы строительства, а именно — допустимую (ожидаемую) вариацию скорости выполнения технологических процессов при заданных начально-конечных условиях продолжительности строительных работ.

3. Структура методов ОСП (рис. 4) или, что то же самое — структура детерминированной модели методов решений задач ОСП, предусматривает развитие методов решения задач ОСП на основе широкого спектра как теоретических моделей (1), (2), скоординированных по параметрам организационно-технологической платформы строительства, так и применения к ним эффективных видов моделирования (рис. 3), имея главной

целью алгоритмизацию решений задач организации на инженерном и производственном уровнях. При этом одинаковые параметры различных частных теоретических моделей решений задач ОСП должны иметь одинаковую размерность и преобразовываться в частных моделях с учетом общих граничных условий детерминированной модели.

4. Концепция организационно-технологической платформы строительного производства и разрабатываемая на ее основе детерминированная модель ОСП позволят эффективно развивать и совершенствовать теоретические методы описания систем, инженерные методы проектирования и производственные методы осуществления проектных решений технологии и организации строительства, что повысит статус и полезность исследований и, как следствие, эффективность строительного производства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Легостаева О.А. Многофакторные модели для оценки инвестиционных проектов // Технология и экономика строительства. Проблемы и пути их решения : сб. науч. тр. Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2004. С. 139–153.

2. Михайличенко О.Ю. Организационная надежность реализации строительных проектов // Труды НГАСУ. Сибстрин, 2011. Т. 14. № 2 (51). С. 11–15.

3. Кузнецов П.А., Олейник С.П., Захаров П.В. Организационная надежность управления ресурсным обеспечением при переустройстве аварийных объектов // Жилищное строительство. 2006. № 1. С. 5.

4. Калачев В.Л., Керимов Ф.Ю., Акопян А.Н. Методологические основы совершенствования организационно-технологических процессов качественной подготовки коммуникаций промышленных сооружений к эксплуатации // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2006. № 2. С. 82–84.

5. Абдуллаев Г.И., Величкин В.З., Солдатенко Т.Н. Повышение организационно-технологической надежности строительства линейно-протяженных сооружений методом прогнозирования отказов // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 3 (38). С. 43–50. DOI: 10.5862/MCE.38.6

6. Недавний О.И., Базилевич С.В., Кузнецов С.М. Оценка организационно-технологической надежности строительства объектов // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 2 (18). С. 137–141.

7. Гусаков А.А., Гинзбург А.В., Веремеенко С.А., Монфред Ю.Б., Прыкин Б.В., Яровенко С.М. Организационно-технологическая надежность строительства. М. : SVR-Аргус, 1994. 472 с.

8. Кузнецов С.М., Маслов И.А., Суворов А.Д., Ячменьков С.Н. Оценка надежности организационно-технологических решений в строительстве // Транспортное строительство. 2007. № 1. С. 26–27.

9. Лапидус А.А. Организационно-технологическая платформа строительства // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 4. С. 516–524. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.4.516-524

10. Величкин В.З., Абдуллаев Г.И. Некоторые особенности оценки надежности строительных потоков // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 4. С. 53–54.

11. Калюжнюк М.М., Калюжнюк А.В. Организация строительных процессов: основы теории структурно-функционального моделирования // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 3 (50). С. 131–139.

12. Калюжнюк М.М., Сандан Р.Н. Структурная классификация элементов строительных процессов // Вестник гражданских инженеров. 2008. № 1 (14). С. 46–52.

13. Marcon P., Zezulka F., Vesely I., Szabo Z., Roubal Z., Sajdl O. et al. Communication Technology for Industry 4.0 // 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium — Spring (PIERS). 2017. DOI: 10.1109/piers.2017.8262021

14. Федосеева Т.А. Формирование функциональной модели организации строительного производства в условиях чрезвычайной ситуации // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 272–277. DOI: 10.22227/1997-0935.2013.10.272-277

15. Месарович М., Марко Д., Такахара Я. Теория иерархических многоуровневых систем / пер. с англ. М. : Мир, 1973. 344 с.

16. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование: организация систем / пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. М. : Радио и связь, 1991. 223 с.

17. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. М. : Высшая школа, 1985. 270 с.

18. Сокольников В.В. Моделирование организации работ на основе концепции физического строительного потока // Вестник гражданских инженеров.

2019. № 1 (72). С. 94–99. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-1-94-99

19. Сокольников В.В. Математическая постановка задачи моделирования поточной организации работ в строительстве // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 3. С. 443–451. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.3.443-451

20. Kuzhin M., Zhadanovsky B., Kudryashov M., Granilshchikova E. The organizational process in construction using information modeling technologies // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 91. P. 08032. DOI: 10.1051/e3sconf/20199108032

21. Anderson S., Molenaar K., Schexnayder C. Right-of-way methods and tools to control project cost escalation // NCHRP Synthesis 132, Transportation Research Board National Academies. 2009.

22. Atkinson R. Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria // International Journal of Project Management. 1999. Vol. 17. Issue 6. Pp. 337–342. DOI: 10.1016/s0263-7863(98)00069-6

23. Batson R. Project risk identification methods for construction planning and execution // Construction Research Congress 2009. 2009. DOI: 10.1061/41020(339)76

24. El-Rayes K., Moselhi O. Optimizing Resource Utilization for Repetitive Construction Projects // Journal of Construction Engineering and Management.

2001. Vol. 127. Issue 1. Pp. 18–27. DOI: 10.1061/(asce)0733-9364(2001)127:1(18)

25. Gil N., Tether B.S. Project risk management and design flexibility: Analysing a case and conditions of complementarity // Research Policy. 2011. Vol. 40. Issue 3. Pp. 415–428. DOI: 10.1016/j.respol.2010.10.011

26. Caamu T.J. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М. : ЛКИ, 2008. 360 с.

27. Hagiu A., Wright J. Multi-sided platforms // International Journal of Industrial Organization. 2015. Vol. 43. Pp. 162–174. DOI: 10.1016/j.ijindorg.2015.03.003

28. Qian F., Zhong W., Du W. Fundamental theories and key technologies for smart and optimal manufacturing in the process industry // Engineering. 2017. Vol. 3. Issue 2. Pp. 154–160. DOI: 10.1016/J.ENG.2017.02.011

29. Shaabany G., Grimm M., Anderl R. Secure information model for data marketplaces enabling global distributed manufacturing // Procedia CIRP. 2016. Vol. 50. Pp. 360–365. DOI: 10.1016/j.procir.2016.05.003

Поступила в редакцию 31 мая 2022 г.

Принята в доработанном виде 29 ноября 2022 г.

Одобрена для публикации 21 декабря 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Азарий Абрамович Лapidус** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий 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@mgsu.ru;

Роман Владимирович Мотылев — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой организации строительства; **Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ)**; 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4; РИНЦ ID: 19176755, Scopus: 57223004399, ORCID: 0000-0002-2026-0390; motylev@yandex.ru;

Владимир Вячеславович Сокольников — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры организации строительства; **Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ)**; 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4; РИНЦ ID: 526448, Scopus: 57202821958, ResearcherID: ABA-8338-2021, ORCID: 0000-0003-3768-2079; vschief@yandex.ru.

Вклад авторов:

Лapidус А.А. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии.

Мотылев Р.В. — идея, сбор материала.

Сокольников В.В. — обработка материала, написание статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Legostaeva O.A. Multifactor models for evaluation of investment projects. *Technology and economics of construction. Problems and ways to solve them : collection of scientific papers*. Novosibirsk, SGUPS Publishing House, 2004; 139–153. (rus.).

2. Mikhailichenko O.Yu. Organizational reliability of the implementation of construction projects. *Proceedings of NGASU. Sibstrin*. 2011; 14(2):11–15. (rus.).

3. Kuznetsov P.A., Oleinik S.P., Zakharov P.V. Organizational reliability of resource management during

the reconstruction of emergency facilities. *Housing Construction*. 2006; 1:5. (rus.).

4. Kalachev V.L., Kerimov F.Yu., Akopyan A.N. Methodological bases of improvement of organizational and technological processes of qualitative preparation of communications of industrial structures for operation. *Defense Complex — Scientific and Technical Progress of Russia*. 2006; 2:82-84. (rus.).

5. Abdullaev G.I., Velichkin V.Z., Soldatenko T.N. Improving the organizational and technological reliability of the construction of linear-extended structures by the method of predicting failures. *Magazine of Civil Engineering*. 2013; 3(38):43-50. DOI: 10.5862/MCE.38.6 (rus.).

6. Nedavny O.I., Bazilevich S.V., Kuznetsov S.M. Assessment of organizational and technological reliability of project construction. *Systems. Methods. Technologies*. 2013; 2(18):137-141. (rus.).

7. Gusakov A.A., Ginzburg A.V., Veremeenko S.A., Monfred Yu.B., Prykin B.V., Yarovenko S.M. *Organizational and technological reliability of construction*. Moscow, SVR-Argus Publ., 1994; 472. (rus.).

8. Kuznetsov S.M., Maslov I.A., Suvorov A.D., Yachmenkov S.N. Assessment of reliability of organizational and technological solutions in construction. *Transport Construction*. 2007; 1:26-27. (rus.).

9. Lapidus A.A. Organizational and technological platform of construction. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(4):516-524. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.4.516-524 (rus.).

10. Velichkin V.Z., Abdullaev G.I. Some features of reliability evaluation of building flows. *Magazine of Civil Engineering*. 2009; 4:53-54. (rus.).

11. Kalyuzhnyuk M.M., Kalyuzhnyuk A.V. Organization of construction processes: the fundamentals of the theory of structural and functional modeling. *Bulletin of Civil Engineers*. 2015; 3(50):131-139. (rus.).

12. Sandan R.N., Kalyuzhnyuk M.M. Structural classification of elements of construction processes. *Bulletin of Civil Engineers*. 2008; 1(14):46-52. (rus.).

13. Marcon P., Zezulka F., Vesely I., Szabo Z., Roubal Z., Sajdl O. et al. Communication Technology for Industry 4.0. *2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium — Spring (PIERS)*. 2017. DOI: 10.1109/piers.2017.8262021

14. Fedoseeva T.A. Functional Modeling of Construction Organization in Emergency Situations. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013; 10:272-277. DOI: 10.22227/1997-0935.2013.10.272-277 (rus.).

15. Mesarovich M., Marko D., Takahara Ya. *Theory of hierarchical multilevel systems*. Moscow, Mir Publ., 1973; 344. (rus.).

16. Saati T., Kearns K. *Analytical planning. Organization of systems*. Moscow, Radio and Communications Publ., 1991; 222. (rus.).

17. Sovietov B.Ya., Yakovlev S.A. *Modeling of systems*. Moscow, High School Publ., 1985; 270. (rus.).

18. Sokolnikov V.V. Modeling of work organization based on the concept of physical construction stream. *Bulletin of Civil Engineers*. 2019; 1(72):94-99. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-1-94-99 (rus.).

19. Sokolnikov V.V. Mathematical formulation of the problem of modeling the flow organization of works in construction. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(3):443-451. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.3.443-451 (rus.).

20. Kuzhin M., Zhadanovsky B., Kudryashov M., Granilshchikova E. The organizational process in construction using information modeling technologies. *E3S Web of Conferences*. 2019; 91:08032. DOI: 10.1051/e3s-conf/20199108032

21. Anderson S., Molenaar K., Schexnayder C. Right-of-way methods and tools to control project cost escalation. *NCHRP Synthesis 132, Transportation Research Board National Academies*. 2009.

22. Atkinson R. Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. *International Journal of Project Management*. 1999; 17(6):337-342. DOI: 10.1016/s0263-7863(98)00069-6

23. Batson R. Project risk identification methods for construction planning and execution. *Construction Research Congress 2009*. 2009. DOI: 10.1061/41020(339)76

24. El-Rayes K., Moselhi O. Optimizing resource utilization for repetitive construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2001; 127(1):18-27. DOI: 10.1061/(asce)0733-9364(2001)127:1(18)

25. Gil N., Tether B.S. Project risk management and design flexibility: Analysing a case and conditions of complementarity. *Research Policy*. 2011; 40(3):415-428. DOI: 10.1016/j.respol.2010.10.011

26. Saati T.L. *Decision making under dependencies and feedbacks : analytical networks*. Moscow, LKI Publ., 2008; 360. (rus.).

27. Hagi A., Wright J. Multi-sided platforms. *International Journal of Industrial Organization*. 2015; 43:162-174. DOI: 10.1016/j.ijindorg.2015.03.003

28. Qian F., Zhong W., Du W. Fundamental theories and key technologies for smart and optimal manufacturing in the process industry. *Engineering*. 2017; 3(2):154-160. DOI: 10.1016/J.ENG.2017.02.011

29. Shaabany G., Grimm M., Anderl R. Secure information model for data marketplaces enabling global distributed manufacturing. *Procedia CIRP*. 2016; 50:360-365. DOI: 10.1016/j.procir.2016.05.003

Received May 31, 2022.

Adopted in revised form on November 29, 2022.

Approved for publication on December 21, 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;

Roman V. Motylev — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Construction Organization; **Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)**; 4 2nd Krasnoarmeyskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; ID RISC: 19176755, Scopus: 57223004399, ORCID: 0000-0002-2026-0390; motylev@yandex.ru;

Vladimir V. Sokolnikov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction Organization; **Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)**; 4 2nd Krasnoarmeyskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; ID RISC: 526448, Scopus: 57202821958, ResearcherID: ABA-8338-2021, ORCID: 0000-0003-3768-2079; vschief@yandex.ru.

Contribution of the authors:

Azariy A. Lapidus — scientific guidance, research concept, development of methodology.

Roman V. Motylev — idea, collection of material.

Vladimir V. Sokolnikov — material processing, article writing.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Методы и инструменты управления стоимостью строительства на предпроектном этапе жизненного цикла объекта капитального строительства

Дмитрий Станиславович Мошкалёв, Алия Рамилевна Бахтизина

Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта (НИИ Транснефть);
г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Стоимость строительства — важнейший показатель любого инвестиционно-строительного проекта (ИСП), подверженный изменениям на каждом этапе жизненного цикла (ЖЦ) объекта капитального строительства (ОКС) вследствие влияния множества внутренних и внешних факторов. Вопросы построения эффективной комплексной системы управления стоимостью строительства, позволяющей контролировать изменение стоимости строительства в процессе создания объекта, являются актуальными для всех участников инвестиционно-строительного процесса. На каждом этапе ЖЦ ОКС применяются определенные методы и инструменты, обеспечивающие решение задач, связанных с управлением стоимостью строительства. На этапе планирования капитальных вложений и разработки предпроектной документации основная задача в части управления стоимостью — установление достоверной стоимости строительства и возможных границ ее изменения с учетом рисков и неопределенности. Решение этой задачи усложняется почти полным отсутствием исходных данных об объекте и сжатыми сроками выполнения предпроектных работ. Объект исследования — система методов и инструментов, применяющихся для решения задач управления стоимостью строительства ОКС на этапе планирования капитальных вложений и разработки предпроектной документации.

Материалы и методы. Проведен анализ существующего процесса, методов и инструментов определения стоимости строительства на этапе планирования капитальных вложений и разработки предпроектной документации на создание объекта. Использованы методы анализа, экспертных и сравнительных оценок.

Результаты. По результатам анализа предложены основные методологические принципы и практические инструменты, обеспечивающие решение задачи определения достоверной стоимости строительства объекта.

Выводы. Предложенные методологические подходы и практические инструменты управления стоимостью строительства могут быть использованы при реализации ИСП любой сложности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: управление стоимостью строительства, объект капитального строительства, обоснование инвестиций, оценка эффективности инвестиций, укрупненные нормативы цены строительства

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мошкалёв Д.С., Бахтизина А.Р. Методы и инструменты управления стоимостью строительства на предпроектном этапе жизненного цикла объекта капитального строительства // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 1. С. 132–142. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.132-142

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Станиславович Мошкалёв, moshkalev@yandex.ru.

Methods and tools of a construction cost management system at the pre-project lifecycle stage of a construction facility

Dmitrii S. Moshkalev, Aliya R. Bakhtizina

Research Institute of Pipeline Transport (Transneft R&D); Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The cost of construction is the most important indicator of any investment and construction project which is subject to change at every stage of its lifecycle due to the influence of many internal and external factors. Creation of an effective integrated construction cost management system, which allows controlling changes in construction costs in the process of developing a construction facility, is relevant for all participants of investment and construction processes. Certain methods and tools are applied at every lifecycle stage of a construction facility; they solve construction cost management problems. At the stage of capital investment planning and preliminary design, the main task is to determine trustworthy construction costs and possible limits of their change, taking into account any risks and uncertainties. This task turns more complex due to the lack of initial data about the facility and tight deadlines. This article is focused on the system of methods and practical tools used to determine construction costs at the stages of capex planning and preliminary design of a construction facility.

Materials and methods. In the course of the study, current construction cost calculation methods were analyzed. Methods of analysis, synthesis, expert and comparative evaluation were applied.

Results. As a result of the analysis the main principles of this methodological approach and a set of practical tools were developed to find reliable construction costs.

Conclusions. The proposed methods and practical construction cost management tools can be applied in the process of implementation of investment and construction projects of any complexity.

KEYWORDS: construction cost management, construction facility, justification of investments, assessment of investment efficiency, consolidated construction cost standards

FOR CITATION: Moshkalev D.S., Bakhtizina A.R. Methods and tools of a construction cost management system at the pre-project lifecycle stage of a construction facility. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(1):132-142. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.132-142 (rus.).

Corresponding author: Dmitrii S. Moshkalev, moshkalev@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс управления стоимостью строительства можно условно поделить на два этапа — этап планирования и определения достоверной стоимости строительства и этап контроля и удержания стоимости в ранее определенных пределах. Данные стадии соответствуют основным этапам жизненного цикла (ЖЦ) объекта капитального строительства (ОКС) (рис. 1).

Стоимость строительства на разных этапах ЖЦ ОКС подвержена изменениям вследствие влияния множества факторов [1, 2]. Минимизация этих изменений и эффективное управление стоимостью строительства объекта, наряду с обеспечением безопасности и высокого уровня качества, — ключевая задача всех участников инвестиционно-строительных проектов (ИСП), особенно для строек, финансируемых за счет бюджетных средств.

Главной задачей управления стоимостью строительства объекта на начальных этапах ЖЦ (планирование капитальных вложений, разработка предпроектной и проектной документации, прохождение

государственной экспертизы, заключение контракта на строительно-монтажные работы (СМР)) является определение стоимости строительства с максимально возможной и доступной степенью достоверности, с учетом имеющихся данных и ограничений, результатов оценки рисков и неопределенности. На последующих этапах ЖЦ ОКС важной задачей управления стоимостью строительства становятся контроль и обеспечение удержания стоимости в ранее установленных пределах [3].

На каждой стадии для достижения целей управления стоимостью строительства, помимо федеральной, региональной и отраслевой нормативно-правовой базы, участниками инвестиционно-строительного процесса выработаны и применяются различные, но взаимосвязанные организационные, методологические и технологические инструменты [4]. При этом вопросы, связанные с эффективностью управления стоимостью строительства объектов на разных этапах ЖЦ, исследованы недостаточно [5].

Цель настоящей статьи — анализ и систематизация методов и инструментов управления сто-

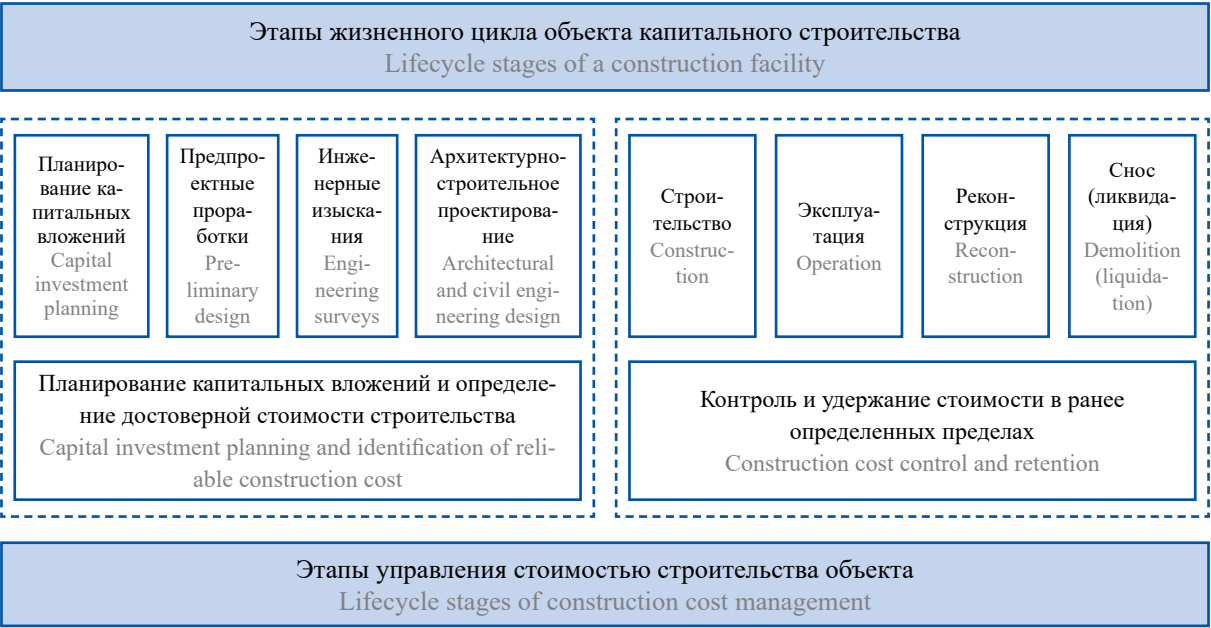


Рис. 1. Взаимосвязь этапов жизненного цикла объекта капитального строительства и этапов управления стоимостью строительства

Fig. 1. Correlation between stages in the construction facility lifecycle and construction cost management

имостью строительства объектов на стадии планирования капитальных вложений и разработки предпроектной документации, применяемых участниками инвестиционно-строительного процесса для достижения эффективного управления стоимостью строительства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На стадии планирования и определения достоверной стоимости строительства выясняется предполагаемая (предельная) стоимость строительства, которая впоследствии, как правило, используется как верхняя граница стоимости строительства объекта.

Особенности этой стадии заключаются в недостатке исходной информации о планируемом объекте и необходимости оперативной и в то же время достаточно точной оценки величины предстоящих затрат на его создание¹.

Оценка предполагаемой (предельной) стоимости строительства объекта проводится на основании результатов выявления основных технико-экономических параметров проекта с учетом имеющихся исходных данных, границ возможных изменений стоимости строительства, обусловленных наличием рисков и неопределенности [6].

Выполнение обозначенной задачи обеспечивается:

- организацией сбора и подготовки исходных сведений по объекту с максимально возможной на этом этапе детализацией;
- проведением комплекса исследований и расчетов, связанных с оценкой технической и экономической целесообразности строительства объекта с проработкой различных вариантов его создания, определением основных технико-экономических параметров и показателей объекта;
- разработкой обосновывающих материалов в форме предпроектной документации (декларация о намерениях, обоснование инвестиций);
- анализом и оценкой возможных факторов, влияющих на стоимость строительства и экономическую эффективность проекта.

Система методов и практических инструментов, способствующих решению указанных задач, представлена на рис. 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Остановимся более подробно на группе организационных инструментов, описывающих ключевые

на этой стадии процессы, так как методологические и технологические инструменты выполняют в данном случае обеспечивающую функцию — формализуют и обеспечивают автоматизацию и повышение производительности процессов, входящих в группу организационных инструментов. Приведенная система инструментов и методов управления стоимостью строительства основана на действующей системе нормативно-правового регулирования в проектировании и строительстве и является практическим дополнением к ней.

Сбор, согласование и утверждение предварительных исходных данных для проектирования объекта

Сбор исходных данных для проектирования — один из важнейших процессов на предпроектной стадии, обеспечивающий качество последующих работ и позволяющий повысить степень точности расчетов стоимости строительства [7].

Чем полнее и качественнее исходные сведения по объекту, тем выше степень проработки проектных и организационных решений по объекту и, соответственно, точность и достоверность расчетов стоимости строительства.

Представляется целесообразным привлечение на рассматриваемом этапе специализированной организации на договорной основе (наиболее эффективно поручение этой задачи проектной организации, планируемой к привлечению для разработки проектной и рабочей документации, для обеспечения требуемого уровня качества сбора и верификации исходных данных и подготовки проектов задания на проектирование (ЗНП) и технического задания (ТЗ)). Стоимость работ по сбору исходных данных не входит в базовую стоимость проектных работ и оплачивается отдельно².

Результатом работ по сбору исходной информации должен являться согласованный заказчиком, проектной и подрядной организацией (при необходимости) перечень исходных данных для проектирования, включая вопросы организации строительства.

В ряде отраслей существует практика проведения выездных комиссий по сбору исходных данных для проектирования на месте будущего строительства объекта с участием представителей заказчика, генерального проектировщика, подрядной организации, а также генерального конструктора и научного руководителя работ (при наличии уникального и технически сложного оборудования или внедре-

¹ Игнатова Т.В. Определение предполагаемой стоимости объектов капитального строительства на предпроектной стадии // Вестник государственной экспертизы. 2019. № 02 (11). С. 85–91. URL: <https://geps.ru/upload/iblock/684/684211bad388c22418b77d4449af5c81.pdf>

² Методика определения стоимости работ по подготовке проектной документации : утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 01.10.2021 № 707/пр. П. 11 табл. 4.1 Приложения № 4.

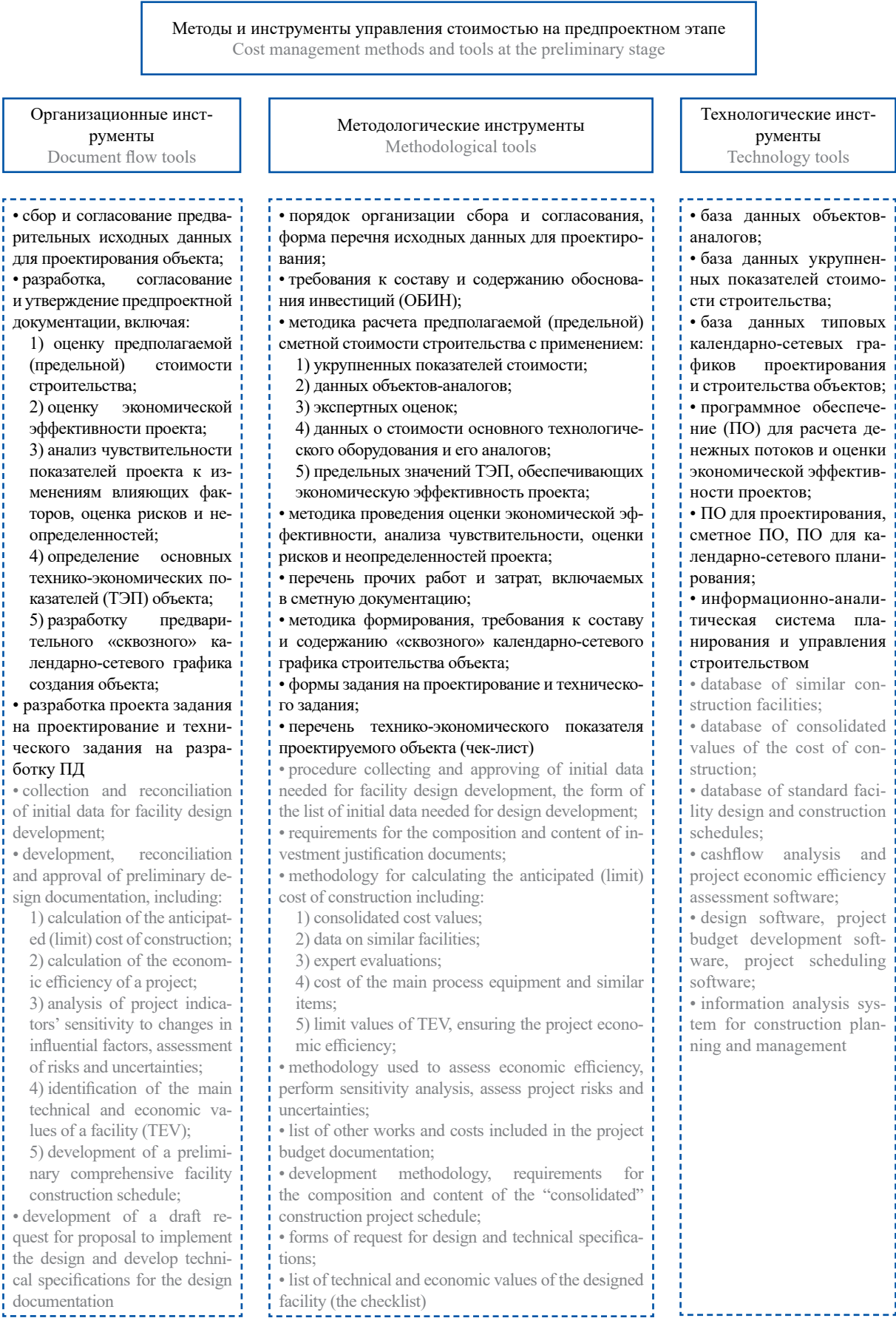


Рис. 2. Основные инструменты управления стоимостью строительства на предпроектном этапе

Fig. 2. The main tools of cost construction management at the preliminary design stage

нии новых технологий) с целью рассмотрения и согласования основных исходных данных для проектирования, решений по планировке территории, проектов ЗНП и ТЗ, принципиальных технологических и конструктивных, и объемно-планировочных решений. Такая практика целесообразна при строительстве технически сложных, опасных, уникальных объектов, а также специальных объектов.

Разработка, согласование и утверждение предпроектной документации

Главный процесс системы управления стоимостью строительства объекта на предпроектной стадии — разработка обоснования инвестиций в реализацию инвестиционного проекта.

ОБИН представляет собой результат предпроектных проработок в виде комплекта документации, содержащей:

- краткое описание ИСП;
- ключевые характеристики, сроки и этапы строительства, место размещения ОКС;
- основные (принципиальные) архитектурно-художественные, технологические, конструктивные и объемно-планировочные, инженерно-технические и иные проектные решения по созданию ОКС;
- сведения об основном технологическом оборудовании с учетом требований технологий производства, соответствия указанных решений современному уровню развития техники и технологий, строительных материалов и оборудования, применяемых в строительстве;
- предполагаемую (предельную) стоимость ОКС;
- оценку экономической эффективности проекта [8–10].

Требования к составу и содержанию ОБИН для объектов, строительство которых финансируется из бюджетных средств, определены Постановлением Правительства РФ³. Для объектов, финансируемых из иных источников, требования могут быть более детальными, особенно для проектов, преследующих коммерческие цели [10].

При разработке ОБИН определяются ключевые параметры технического облика объекта и предполагаемая (предельная) стоимость строительства объекта с использованием:

- данных по стоимости строительства объектов-аналогов (ранее построенных или запроектированных объектов, сходных с проектируемым

объектом по производственно-технологическому или функциональному назначению, конструктивно-планировочной схеме, условиям строительства, стоимость которых определена исходя из фактических затрат на строительство или на основании утвержденной проектной документации);

- укрупненных нормативов цены строительства⁴ (УНЦС), нормативов цены конструктивных решений или других удельных показателей стоимости строительства (корпоративных, отраслевых, ведомственных или федеральных);

- локальных сметных расчетов на отдельные виды работ и затрат, разработанных с применением сметных норм и единичных расценок, а также расчетов стоимости прочих работ и затрат.

Общая схема процесса определения стоимости на этапе разработки предпроектной документации приведена на рис. 3.

Наиболее предпочтительным с точки зрения степени точности оценки стоимости представляется метод оценки по объектам-аналогам, так как он в случае корректного подбора аналога обеспечивает соответствие стоимостных показателей проектируемого объекта показателям реального, построенного объекта, технический облик и показатели которого соответствует прошедшей согласование и экспертизу проектно-сметной документации (ПСД). Однако метод имеет одно обязательное условие — наличие источника информации о возможных объектах-аналогах, т.е. собственной или общедоступной базы данных по реализованным объектам. Такие базы данных целесообразно иметь крупным компаниям, осуществляющим реализацию значительного количества объектов. Общедоступные базы с необходимой информацией практически отсутствуют или их наполнение ограничено незначительным перечнем объектов.

Выбор объекта-аналога осуществляется из числа реализованных объектов, технико-экономические показатели, основные проектные решения, производственное или функциональное назначение, условия строительства которых максимально соответствуют проектируемому объекту.

В целом по объекту и для каждого его значимого элемента (здание, сооружение, конструктивный элемент здания, сооружения, оборудование) определяется основной расчетный показатель в натуральном выражении, характеризующий проектные решения по объекту в целом или по видам работ

³ О порядке и об основаниях заключения контрактов, предметом которых является одновременно выполнение работ по проектированию, строительству и вводу в эксплуатацию объектов капитального строительства, и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации (с Изменениями на 31.12.2019) : Постановление Правительства РФ от 12.05.2017 № 563.

⁴ Укрупненный норматив цены строительства — показатель потребности в денежных средствах, необходимых для создания единицы мощности строительной продукции, предназначенный для планирования (обоснования) инвестиций (капитальных вложений) в объекты капитального строительства (п. 33.1 ст. 1 Градостроительного кодекса Российской Федерации).

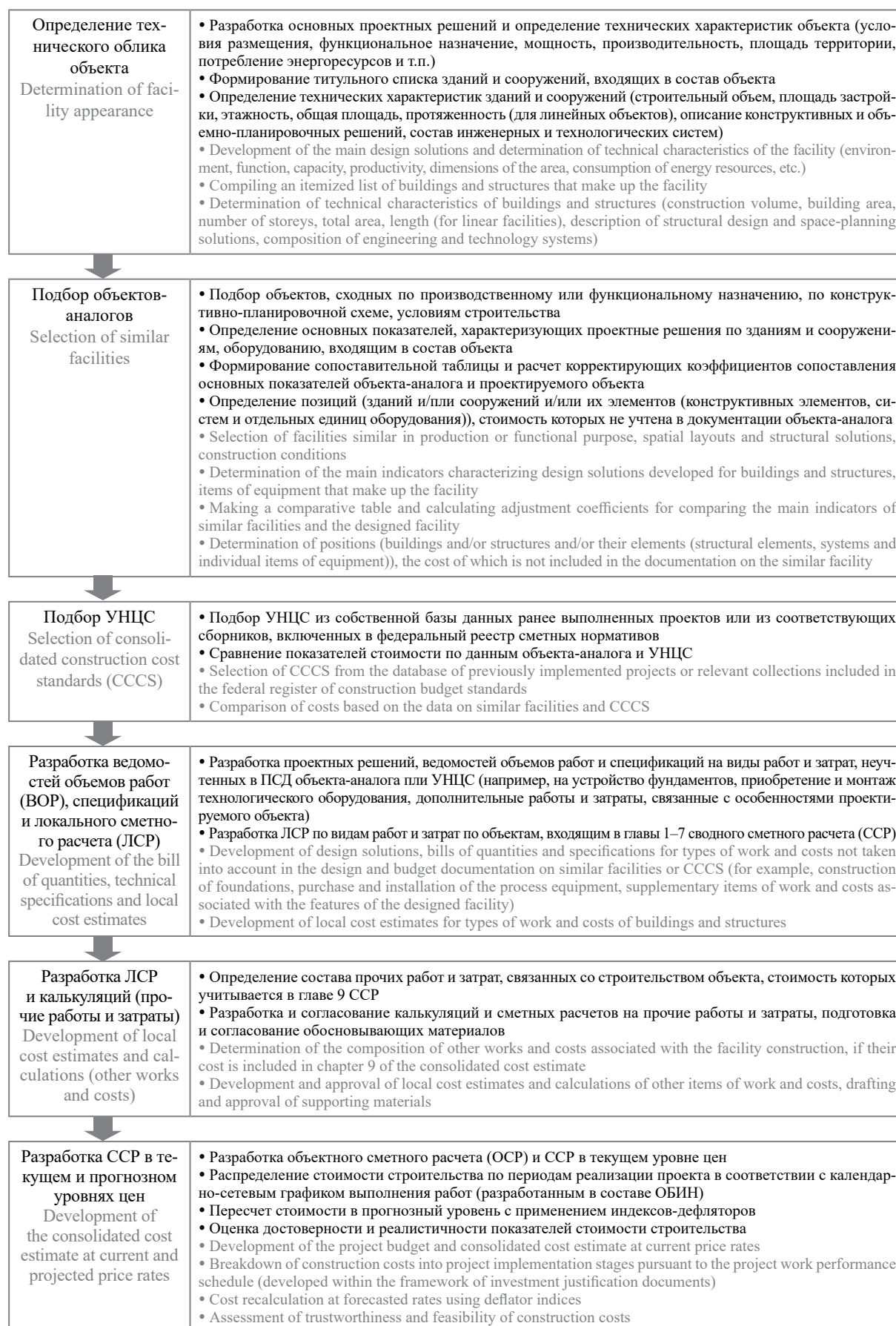


Рис. 3. Схема процесса определения стоимости на этапе разработки предпроектной документации

Fig. 3. The scheme of the cost determination process at the preliminary design stage

и конструктивным элементам, по которому возможно проведение сопоставления с аналогичным показателем объекта-аналога для:

- площадки в целом: общая площадь;
- зданий и сооружений: строительный объем, площадь застройки, общая площадь;
- наружных сетей и коммуникаций: протяженность;
- оборудования: мощность, производительность, масса.

Расчет стоимости строительства по сведениям объектов-аналогов выполняется путем формирования сводной таблицы, содержащей результаты сопоставления составляющих проектируемого объекта и объекта-аналога по расчетным показателям, и поправки на отличия между проектируемым объектом и объектом-аналогом. Поправки, или корректирующие коэффициенты, учитывают количественные и качественные различия между проектируемым объектом и объектом-аналогом. Необходимо отметить, что для разных составляющих (элементов) объекта могут быть использованы различные аналоги. Например, при отличии проектных решений по конструктивному исполнению фундамента в проектируемом объекте и объекте-аналоге для этого элемента стоимости следует подобрать другой аналог с аналогичными или сходными проектными решениями.

Чем глубже проработка технологических, конструктивных, объемно-планировочных и инженерных решений по проектируемому объекту, тем точнее может быть проведен подбор объектов-аналогов для каждого элемента структуры сметной стоимости объекта [11].

В последнее время Минстроем России ведется активная разработка и актуализация сборников укрупненных нормативов цены строительства, включаемых в федеральный реестр сметных нормативов и предназначенных для планирования капитальных вложений в строительство объектов, финансируемых за счет бюджетных средств. Номенклатура сборников достаточно обширная (100 сборников) и содержит удельные показатели стоимости строительства (в расчете на единицу измерения) различных объектов, от малых архитектурных форм до объектов использования атомной энергии. Недостатками сборников УНЦС служат редкое обновление, отсутствие разбивки на составляющие стоимости строительства объекта, отсутствие сведений об источниках ценовой информации (проектно-сметная документация по объектам-представителям), а также то, что удельные показатели сформированы на основании показателей объектов, построенных за счет бюджетных средств, стоимость строительства которых не всегда соответствует рыночной.

Учитывая вышеизложенное, при формировании стоимости по данным объекта-аналога необ-

ходимо осуществление попозиционного сравнения полученных в сопоставительной таблице удельных показателей стоимости проектируемого объекта с данными объекта-аналога и показателями УНЦС.

В случае, если удельные показатели стоимости проектируемого объекта значительно отличаются от соответствующих показателей объекта-аналога и/или УНЦС, или от ожидаемых значений (требуемых с точки зрения экономической целесообразности и рентабельности работ), стоит провести дополнительный анализ причин расхождения.

В случае выявления работ и затрат, не учтенных или значительно отличающихся в ПСД объекта-аналога или УНЦС, также необходима разработка соответствующих проектных решений (обосновывающих материалов) и разработка ЛСР на данные виды работ и затрат методом прямого счета с применением сметных норм и расценок.

Таким образом, в результате предпроектных проработок и укрупненной оценки стоимости формируется сводный сметный расчет стоимости строительства объекта в текущих ценах, который содержит структурированный перечень объемов работ и затрат по объекту с разбивкой по зданиям, сооружениям, отдельным видам работ и затрат со стоимостной оценкой каждой позиции перечня, т.е. технологически ориентированная структура сметной стоимости строительства объекта.

В дальнейшем на этапе разработки проектной и рабочей документации выполняется детализация данных позиций с заменой всех сметных расчетов, составленных по информации объектов-аналогов и с применением УНЦС, на ЛСР по видам работ и затрат, разработанных с применением сметных норм и расценок.

Для каждой позиции ССР (здания, сооружения, общеплощадочные объекты и работы), а также для наиболее весомых их составляющих указывается расчетный удельный показатель стоимости строительства (в расчете на 1 м² общей площади, 1 м³ строительного объема, 1 м³ железобетонных конструкций, 1 п. м. инженерных сетей и т.п.). По значениям удельных показателей можно сделать вывод о достоверности, реалистичности и достаточности рассчитанной стоимости строительства объекта, в сравнении с имеющимися общедоступными сведениями или на основании экспертных оценок. Значения рассчитанных таким образом технико-экономических показателей проекта должны быть внесены в задание на проектирование как целевые показатели стоимости объекта.

После определения объема инвестиционных затрат проводится оценка экономической эффективности инвестиций, включая оценку рисков, неопределенности и границы возможных изменений показателей проекта [8, 9, 12–16]. Оценка экономической эффективности проекта осуществляется по общепринятым методикам, как правило, с при-

менением метода дисконтированных денежных потоков⁵.

Для учета рисков и неопределенностей, связанных с реализацией проекта, при расчетах денежных потоков и определении показателей экономической эффективности проекта проводится анализ чувствительности проекта к изменению факторов, влияющих на его реализацию [17]. Анализ чувствительности позволяет оценить влияние различных факторов (например, изменение объема инвестиций в строительство объекта) на показатели экономической эффективности как по каждому фактору в отдельности, так и по совокупности факторов и вариантов их изменения (сценарный анализ).

Наличие предпроектной документации дает возможность свести к минимуму риск возникновения ошибок при выборе места размещения объекта, основных (принципиальных) проектных решений и повысить точность определения предельной стоимости строительства и, следовательно, сократить риски, связанные с резервированием избыточных объемов бюджетного финансирования реализации проектов и некорректностью установления начальной (максимальной) цены контракта.

Привлечение экспертов на этой стадии позволяет выявить потенциальные риски проекта в строительстве и наметить пути их максимального снижения или устранения на первоначальном этапе.

Разработка «сквозного» календарно-сетевого графика реализации проекта

Для эффективного управления проектом, обеспечения рационального распределения и контроля затрат, связанных с реализацией проекта, в составе предпроектной документации должен разрабатываться объединенный или «сквозной» календарно-сетевой график (КСГ) реализации проекта, охватывающий весь ЖЦ ОКС. Календарно-сетевой график представляет собой формализованное описание совокупности связанных работ, необходимых для достижения целей проекта, выстроенных в определенную последовательность и имеющих конкретную продолжительность [18].

Разрабатываемый на предпроектном этапе укрупненный «сквозной» КСГ предназначен для определения и последующего контроля технологической последовательности, сроков, объемов и стоимости работ по трем ключевым направлениям: проектирование, материально-техническое обеспечение и строительство.

В укрупненном «сквозном» КСГ фиксируются работы и главные технологические и организационные события проекта: разработка предпроектной документации, выбор площадки, проведение инже-

нерных изысканий, разработка ПД и прохождение экспертизы, подготовка и проведение конкурсных торгов по выбору подрядчика на выполнение СМР и поставку оборудования, СМР подготовительного периода, СМР основного периода, поставка материально-технических ресурсов, изделий, конструкций и оборудования, пусконаладочные работы и ввод объекта в эксплуатацию.

Для каждого элемента КСГ назначаются сроки начала и окончания, объем и стоимость работ, и взаимосвязь с другими элементами.

Состав, технологическая последовательность, объем и стоимость работ (позиций) этапа строительства объекта, включаемых в укрупненный «сквозной» КСГ, должны соответствовать ранее разработанной структуре сметной стоимости строительства объекта (позиции КСГ должны соответствовать структуре сметной стоимости) [18, 19].

Далее по мере продвижения проекта основные блоки КСГ подлежат детализации и уточнению, в том числе на основании сводного календарного плана строительства, разработанного в составе ПОС на этапе разработки проектной документации. Взаимосвязь этапов работ и стоимостных показателей позволяет инвестору и техническому заказчику обеспечить формирование бюджета проекта, выстроить эффективную систему контроля финансирования и отчетности.

Разработка проектов ЗНП и ТЗ

По результатам создания предпроектной документации должны быть разработаны проекты ЗНП и ТЗ, содержащие исходные данные для последующих работ по проведению инженерных изысканий и архитектурно-строительного проектирования, и требования к объекту, целевые технико-экономические показатели и предполагаемая (предельная) стоимость строительства.

Требования к составу и содержанию разделов ПД должны быть установлены с высокой степенью точности и привязаны к контрольным удельным показателям стоимости (при их наличии). Эти показатели должны являться целевыми ориентирами для проектной организации при выработке проектных решений в процессе разработки проектной и рабочей документации, а для заказчика — средством контроля бюджета проекта.

Методические и технологические инструменты управления стоимостью строительства

Указанные выше инструменты и методы определения стоимости строительства необходимо формализовать в виде локальных нормативных актов (положений, регламентов, инструкций, методик,

⁵ Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов : утв. Министерством экономики Российской Федерации, Министерством финансов Российской Федерации, Государственным комитетом Российской Федерации по строительной, архитектурной и жилищной политике 21.06.1999 № ВК 477.

форм и т.п.), принятых на уровне организаций-участников инвестиционно-строительного процесса и соответствующих требованиям действующих федеральных нормативно-правовых актов в области градостроительной деятельности. Для учета результатов реализации проекта по его завершении методические инструменты должны своевременно актуализироваться и дополняться.

Современные технологические инструменты (программное обеспечение, автоматизированные системы, базы данных и т.п.) позволяют повысить уровень автоматизации процессов и действий по определению стоимости строительства, проводимых на этапе предпроектных проработок. Постоянно обновляемые и дополняемые базы данных выполненных проектов (объектов-аналогов) и удельных показателей стоимости строительства объектов обеспечивают эффективное решение задачи оперативной оценки стоимости строительства объекта и подбора необходимой информации по заданным параметрам.

Создание подобных баз данных и программно-аналитических комплексов представляется одним из перспективных направлений совершенствования системы ценообразования в строительстве, которое может быть реализовано с привлечением национальных объединений саморегулируемых организаций, основанных на членстве лиц, осуществляющих проектно-изыскательские работы и строительство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, основными результатами предпроектного этапа ЖЦ ОКС с точки зрения управления стоимостью строительства являются:

- принятые концептуальные технологические, архитектурно-строительные, объемно-планировочные, инженерно-технические и организационные решения, определяющие объемы работ и затрат на проектирование и строительство объекта;
- результаты оценки предполагаемой (предельной) стоимости строительства объекта с учетом рисков и неопределенностей со степенью точности, соответствующей данному этапу;
- укрупненный «сквозной» КСГ с выделением основных этапов работ, ключевых вех и результатов, а также стоимости этапов и их составляющих,

соответствующих структуре сметной стоимости строительства объекта, определенной в ОБИН;

- проект задания на проектирование и технического задания на выполнение проектных работ с рассчитанными технико-экономическими показателями по видам работ и затрат и предельной стоимостью строительства объекта.

С целью учета полученных сведений по стоимости строительства объекта и отдельных его составляющих, а также мониторинга изменений стоимости на последующих этапах реализации проекта, данные и результаты предпроектного этапа должны быть учтены в специализированных автоматизированных информационно-аналитических системах, используемых для управления ИСП. Кроме того, следует своевременно и регулярно актуализировать нормативно-методические документы, описывающие процессы, связанные с определением предполагаемой (предельной) стоимости строительства, а также дополнять базы данных объектов-аналогов, УНЦС и элементов КСГ. На основании полученной в результате реализации проекта информации по стоимости строительства объекта и их соответствия стоимости, определенной на предпроектном этапе, необходимо уточнять подходы к оценке экономической привлекательности и рентабельности проекта и соответствия сметной и фактической стоимости запроектированных объектов [20].

Задача выявления стоимости на этапе предпроектных проработок является комплексной и требует участия специалистов высокого уровня квалификации, наличия знаний по ранее выполненным объектам и удельным показателям стоимости строительства различных объектов и их составляющих.

На последующих стадиях ЖЦ ОКС — этапах разработки проектной и рабочей документации, проведения конкурсных процедур по выбору подрядчика на выполнение СМР и поставку оборудования, строительства и ввода объекта в эксплуатацию — применяются другие инструменты управления стоимостью строительства, направленные на уточнение сметной стоимости и контроль удержания стоимости в ранее определенных пределах. В совокупности данные инструменты представляют собой единую систему управления стоимостью строительства объекта капитального строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокодеев А.В., Овчинников И.Г. Совершенствование методики ресурсно-календарного планирования — как способ повышения эффективности предприятия в области транспортного строительства // Транспортные сооружения. 2020. Т. 7. № 1. DOI: 10.15862/10SATS120

2. Дьякова О.В., Александрия А.В. Принципы и подходы управления стоимостью объекта строительства в рамках развития сметного нормирования и рыночных методов ценообразования // Век качества. 2019. № 4. С. 118–132.

3. Мошкалёв Д.С., Марзаева Е.А. Практические инструменты системы управления стоимостью

строительства на проектной стадии жизненного цикла объекта капитального строительства // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. 2021. № 4 (38). С. 48–52. DOI: 10.17122/2541-8904-2021-4-38-48-52

4. Ляпин А.В., Ляпин В.Ю. Анализ требований к системе ценообразования в строительстве // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 254–259. DOI: 10.22227/1997-0935.2012.10.254-259

5. Петровский А.И., Капустина Н.В. Взаимосвязь точности оценки стоимости строительства и экономической эффективности инвестиционно-строительных проектов // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2021. № 1. С. 165–169. DOI: 10.22394/2079-1690-2021-1-1-165-169

6. Журавлев П.А., Марукян А.М. Обоснование планируемой стоимости инвестиционно-строительных проектов // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 12. С. 1693–1707. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.12.1693-1707

7. Васильева Н.В., Кудрявцева В.А. Анализ изменения стоимости строительства в ходе проведения экспертизы сметной стоимости // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8. № 4. С. 25–34. DOI: 10.21285/2227-2917-2018-4-25-34

8. Марголин А.М., Марголина Е.В., Спицына Т.А. Экономическая оценка инвестиционных проектов. 2-е изд., доп. и перераб. М. : Экономика, 2018. 334 с.

9. Akimova E.M., Stein E.M., Prokhorova Y.S. System analysis in the investment processes management and theoretical principles of the investments assessment // Journal of Advanced Research in Law and Economics. 2015. Vol. 6. Issue 3. Pp. 472–487. DOI: 10.14505/jarle.v6.3(13).03

10. Воронцовский А.В. Управление инвестициями: инвестиции и инвестиционные риски в реальном секторе экономики : учебник и практикум. 1-е изд. М. : Юрайт, 2020. 1 с.

11. Жаров Я.В. Организационно-технологическое проектирование при реализации инвестицион-

но-строительных проектов // Вестник МГСУ. 2013. № 5. С. 176–184.

12. Ильин И.В., Ростова О.В. Управление инвестициями : учебное пособие. СПб. : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2017. 244 с.

13. Филин С.А., Великороссов В.В., Кузнецов Б.Т. Управление проектами и оценка их эффективности : учебник. М. : ООО «Русайнс», 2021. 336 с.

14. Shtefan M.A., Elizarova J.M. Investment project efficiency and risk evaluation: an integrated approach // Business Informatics. 2018. Vol. 2018. Issue 4. Pp. 54–65. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.4.54.65

15. 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

16. 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

17. Gil N., Tether B.S. Project risk management and design flexibility: Analysing a case and conditions of complementarity // Research Policy. 2011. Vol. 40. Issue 3. Pp. 415–428. DOI: 10.1016/j.respol.2010.10.011

18. Андреева Д.А. Проблема взаимосвязи календарного планирования со сметными расчетами // Строительство: новые технологии — новое оборудование. 2019. № 11. С. 30–34.

19. Андреева Д.А. Техники составления сметных расчетов в целях синхронизации с календарным планом // Организация строительного производства : мат. II Всерос. науч. конф. 2020. 344 с.

20. Гуреев К.А., Гладких В.С. Проблема несоответствия сметной стоимости строительно-монтажных работ рыночной // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 4. С. 40–59. DOI: 10.21285/2227-2917-2017-4-40-59

Поступила в редакцию 3 октября 2022 г.

Принята в доработанном виде 29 декабря 2022 г.

Одобрена для публикации 29 декабря 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Дмитрий Станиславович Мошкалёв** — кандидат экономических наук, начальник отдела оценки экономической эффективности проектов; **Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта (НИИ Транснефть)**; 117186, г. Москва, Севастопольский пр-т, д. 47А; SPIN-код: 8552-3345; moshkalev@yandex.ru;

Алия Рамильевна Бахтизина — кандидат экономических наук, заместитель начальника отдела оценки экономической эффективности проектов; **Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта (НИИ Транснефть)**; 117186, г. Москва, Севастопольский пр-т, д. 47А; РИНЦ ID: 884609; bakhtizina_aliya@mail.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Kokodeev A.V., Ovchinnikov I.G. The improving of the methodology of resource scheduling — as a way to efficiency increase of the company in transport construction. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2020; 7(1). DOI: 10.15862/10SATS120 (rus.).
2. Dyakova O.V., Alexandria A.V. Principles and approaches of managing the value of a construction project in the framework of the development of budget valuation and market pricing methods. *Age of Quality*. 2019; 4:118-132. (rus.).
3. Moshkalev D.S., Marzaeva E.A. Practical tools for managing the cost of con. *Proceedings of Ufa State Oil Technical University. Science, education, economics. Series: Economics*. 2021; 4(38):48-52. DOI: 10.17122/2541-8904-2021-4-38-48-52 (rus.).
4. Lyapin A.V., Lyapin V.Yu. Analysis of requirements applicable to the pricing system in the construction industry. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012; 10:254-259. DOI: 10.22227/1997-0935.2012.10.254-259 (rus.).
5. Petrovskiy A.I., Kapustina N.V. Relationship between construction cost estimation accuracy and cost effectiveness of investment and construction projects. *State and Municipal Management. Scholar Notes*. 2021; 1:165-169. DOI: 10.22394/2079-1690-2021-1-1-165-169 (rus.).
6. Zhuravlev P.A., Marukyan A.M. Substantiation of projected costs of investment and construction projects. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2020; 15(12):1693-1707. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.12.1693-1707 (rus.).
7. Vasilyeva N.V., Kudryavtseva V.A. Analysis of changes in the cost of construction during the examination of estimate documentation. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2018; 8(4):25-34. DOI: 10.21285/22272917-2018-4-25-34 (rus.).
8. Margolin A.M., Margolina E.V., Spitsyna T.A. *Economic assessment of investment projects*. 2nd ed. Moscow, Economics, 2018; 334. (rus.).
9. Akimova E.M., Stein E.M., Prokhorova Y.S. System analysis in the investment processes management and theoretical principles of the investments assessment. *Journal of Advanced Research in Law and Economics*. 2015; 6(3):472-487. DOI: 10.14505/jarle.v6.3(13).03
10. Vorontsovsky A.V. *Investment management: investments and investment risks in the real sector of the economy : textbook and workshop*. 1st ed. Moscow, Yurait Publishing House, 2020; 1. (rus.).
11. Zharov Ya.V. Process organization design within the framework of construction projects. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013; 5:176-184. (rus.).
12. Ilin I.V., Rostova O.V. *Investment management : study guide*. St. Petersburg, Saint-Petersburg Peter the Great state polytechnical University, 2017; 244. (rus.).
13. Filin S.A., Velikorossov V.V., Kuznecov B.T. *Project management and its assessment : textbook*. Moscow, Rusajns, 2021; 336. (rus.).
14. Shtefan M.A., Elizarova J.M. Investment project efficiency and risk evaluation: an integrated approach. *Business Informatics*. 2018; 2018(4):54-65. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.4.54.65
15. 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
16. 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
17. Gil N., Tether B.S. Project risk management and design flexibility: Analysing a case and conditions of complementarity. *Research Policy*. 2011; 40(3):415-428. DOI: 10.1016/j.respol.2010.10.011
18. Andreeva D.A. Scheduling and cost estimating interrelation problem. *Construction: New Technologies — New Equipment*. 2019; 11:30-34. (rus.).
19. Andreeva D.A. Construction cost estimating techniques for synchronization with the calendar plan. *Construction management: II All-Russian scientific conference materials*. 2020; 344. (rus.).
20. Gureev K.A., Gladkikh V.S. Problem of discrepancy of cost sheet price of a building-assembling works to the market one. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2017; 7(4):40-59. DOI: 10.21285/2227-2917-2017-4-40-59 (rus.).

Received October 3, 2022.

Adopted in revised form on December 29, 2022.

Approved for publication on December 29, 2022.

B I O N O T E S : **Dmitrii S. Moshkalev** — PhD in Economics, Head of the Department for Evaluating the Economic Efficiency of Projects; **Research Institute of Pipeline Transport (Transneft R&D)**; 47A Sevastopolskiy prospect, Moscow, 117186, Russian Federation; SPIN-code: 8552-3345; moshkalev@yandex.ru;

Aliya R. Bakhtizina — PhD in Economics, Deputy Head of the Department for Evaluating the Economic Efficiency of Projects; **Research Institute of Pipeline Transport (Transneft R&D)**; 47A Sevastopolskiy prospect, Moscow, 117186, Russian Federation; ID RISC: 884609; bakhtizina_alia@mail.ru.

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

The authors declare no conflict of interest.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Текст статьи набирается в файлах в формате .docx.

СТРУКТУРА НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья должна состоять из следующих структурных элементов: заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, основной текст, сведения об авторах, список источников.

Заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, список литературы 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 инициалы.

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.

Образец:

Вклад авторов:

Фамилия И.О. — научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы.

Фамилия И.О. — участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

Фамилия И.О. — scientific management; research concept; methodology development; participation in development of curricula and their implementation; writing the draft; final conclusions.

Фамилия И.О. — participation in development of curricula and their implementation; follow-on revision of the text; final conclusions.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

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 библиотечных 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:

Список источников

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

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 Фамилия^{2...}

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 языке¹ Место работы первого автора; город, страна – на английском языке² 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 источников сверх минимально установленного порога. Не рекомендуется ссылаться на интернет-ресурсы, не содержащие научную информацию, учебники, учебные и методические пособия.

Уровень публикации определяют полнота и представительность источников. Не менее шести из иностранных и не менее шести из российских источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования:

- Web of Science <http://webofknowledge.com>
- Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
- ядро Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) <http://elibrary.ru>

Англоязычных источников включают в список не менее 50 %, за последние три года — не менее половины. Рекомендуется использовать оригинальные источники не старше 10 лет.

Ссылки на источники приводятся в статье в квадратных скобках. Источники нумеруются по порядку упоминания в статье.

Завершают введение к статье постановка и описание цели и задачи приведенной работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Раздел описывает методику проведения исследования. Обоснование выбора темы (названия) статьи. Сведения о методе, приведенные в разделе, должны быть достаточными для воспроизведения его квалифицированным исследователем.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В этой части статьи должен быть представлен систематизированный авторский аналитический и статистический материал. Результаты проведенного исследования необходимо описывать так, чтобы читатель мог проследить его этапы и оценить обоснованность сделанных автором выводов. Это основной раздел, цель которого — при помощи анализа, обобщения и разъяснения данных доказать рабочую гипотезу (гипотезы). Результаты при необходимости подтверждаются иллюстрациями (таблицами, графиками, рисунками), которые представляют исходный материал или доказательства в свернутом виде. Важно, чтобы проиллюстрированная информация не дублировала уже приведенную в тексте. Представленные в

статье результаты следует сопоставить с предыдущими работами в этой области как автора, так и других исследователей. Такое сравнение дополнительно раскроет новизну проведенной работы, придаст ей объективность. Результаты исследования должны быть изложены кратко, но при этом содержать достаточно информации для оценки сделанных выводов. Не принято в данном разделе приводить ссылки на литературные источники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Заключение содержит краткую формулировку результатов исследования (выводы). В этом разделе показывают, как полученные результаты обеспечивают выполнение поставленной цели исследования, указывают, что поставленные задачи авторами были решены. Приводятся обобщения и даются рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В рамках обсуждения желательно раскрыть перспективы развития темы.

В данном разделе не приводят ссылки на источники.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ (REFERENCES)

Оформляется на русском и английском языках.

Расположение источников в списке – в строгом соответствии с порядком упоминания в тексте статьи.

Библиографическое описание документов (в том числе и электронных) на русском языке оформляется в соответствии с требованиями **ГОСТа Р 7.0.5–2008**.

Библиографическое описание документов (в том числе и электронных) на английском языке оформляется в стиле «Ванкувер».

Русскоязычные источники необходимо приводить в официальном варианте перевода (т.е. том, который размещен в самом издании; при наличии). Название города издания приводится полностью, в английском написании. Названия журналов и издательств приводятся либо официальные английские (если есть), либо транслитерированные. В конце описания источника в скобках указывается язык источника (rus.).

Для изданий следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет. Интересующийся читатель должен иметь возможность найти указанный литературный источник в максимально сжатые сроки.

Если у статьи (издания) есть DOI, его обязательно указывают в библиографическом описании источника.

Важно правильно оформить ссылку на источник.

Пример оформления:

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самарин О.Д. О расчете охлаждения наружных стен в аварийных режимах теплоснабжения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 46–50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (дата обращения: 04.12.18).

2. Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Математическая модель 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.

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.

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.

Bi o n o t e s: **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.

Contribution of the authors: 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. / conceptualization, methodology, data gathering and processing, writing of the article, scientific editing of the text, supervision etc.) на английском языке.

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.

ВНИМАНИЕ! Все названия, подписи и структурные элементы рисунков, графиков, схем, таблиц оформляются на русском и английском языках.

И з в е щ е н и е

Кассир

Форма № ПД-4

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7716103391

(ИНН получателя платежа)

032146430000000017300

(номер счета получателя платежа)

в ГУ Банка России по ЦФО

БИК 004525988

(наименование банка получателя платежа)

КБК 000000000000000000000000130

ОКТМО 45365000

Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель,
май, июнь 2023 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика

Адрес

плательщика

Сумма

платы

за

Сумма

платежа 3 822 руб. 00 коп. услуги руб. коп.

Итого руб. коп. « » 20 г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика

Форма № ПД-4

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7716103391

(ИНН получателя платежа)

032146430000000017300

(номер счета получателя платежа)

в ГУ Банка России по ЦФО

БИК 004525988

(наименование банка получателя платежа)

КБК 000000000000000000000000130

ОКТМО 45365000

Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель,
май, июнь 2023 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика

Адрес

плательщика

Сумма

платы

за

Сумма

платежа 3 822 руб. 00 коп. услуги руб. коп.

Итого руб. коп. « » 20 г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика

Квитанция

Кассир

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@mgisu.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@mgisu.ru.

Подробную информацию о вариантах подписки на «Вестник МГСУ» для физических и юридических лиц смотрите на сайте журнала <http://vestnikmgisu.ru/>



И з в е щ е н и е

Кассир

Форма № ПД-4

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7716103391

(ИНН получателя платежа)

032146430000000017300

(номер счета получателя платежа)

в

ГУ Банка России по ЦФО

(наименование банка получателя платежа)

БИК

004525988

КБК

0000000000000000000130

ОКТМО

45365000

Вестник МГСУ - 573.34 руб. х 12 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь,
июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2023 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика

Адрес

плательщика

Сумма

платы

за

Сумма

платежа

6 880

руб.

00

коп.

услуги

руб.

коп.

Итого

руб.

коп.

«

»

20

г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика

Квитанция

Кассир

Форма № ПД-4

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7716103391

(ИНН получателя платежа)

032146430000000017300

(номер счета получателя платежа)

в

ГУ Банка России по ЦФО

(наименование банка получателя платежа)

БИК

004525988

КБК

0000000000000000000130

ОКТМО

45365000

Вестник МГСУ - 573.34 руб. х 12 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь,
июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2023 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика

Адрес

плательщика

Сумма

платы

за

Сумма

платежа

6 880

руб.

00

коп.

услуги

руб.

коп.

Итого

руб.

коп.

«

»

20

г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика

Бланк для оплаты полугодовой подписки через редакцию (оплата в банке).

ВНИМАНИЕ!

Если вы оплатили подписку по форме ПД-4 в банке, то для своевременной отправки вам номеров журнала безотлагательно пришлите копию платежного документа и сообщите ваш адрес с почтовым индексом, Ф.И.О. на e-mail: podpiska@mgsu.ru.

Подписчики — работники НИУ МГСУ могут заполнить бланк на свое имя и обратиться в отдел распространения и развития Издательства МИСИ — МГСУ для оформления подписки.

Телефон: (495)287-49-14 (вн. 22-47), podpiska@mgsu.ru.

Подробную информацию о вариантах подписки на «Вестник МГСУ» для физических и юридических лиц смотрите на сайте журнала <http://vestnikmgsu.ru/>

