

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал
по строительству и архитектуре

Том 17 Выпуск 2/2022
Vol. Issue

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction
and Architecture

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

Том 17. Выпуск 2
2022

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

Сквозной номер 159

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction and Architecture

Volume 17. Issue 2
2022

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

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

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

Тематические рубрики

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

Наименование органа, зарегистрировавшего издание:	Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-63119 от 18 сентября 2015 г.
ISSN	1997-0935 (Print) 2304-6600 (Online)
Периодичность:	12 раз в год
Учредители:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26; Общество с ограниченной ответственностью «Издательство АСВ», 129337, Москва, Ярославское ш., д. 19, корп. 1.
Выходит при научно-информационной поддержке:	Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), Международной общественной организации содействия строительному образованию — АСВ.
Издатель:	ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». Издательство МИСИ – МГСУ 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26. Сайт: www.mgsu.ru E-mail: journals@mgsu.ru
Типография:	Типография Издательства МИСИ – МГСУ 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26 корп. 8. Тел.: (499) 183-91-44, 183-67-92, 183-91-90
Сайт журнала:	http://vestnikmgsu.ru
E-mail:	journals@mgsu.ru
Тел.:	(495) 287-49-14, доб. 23-93
Подписка и распространение:	Журнал распространяется бесплатно в открытом доступе и по подписке. Подписка по Объединенному каталогу «Пресса России». Подписной индекс 83989. Цена свободная.
Подписан в печать	25.02.2022.
Подписан в свет	28.02.2022.

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 16,17. Тираж 100 экз. (1-й завод 50 экз.). Заказ № 59

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

Елена Анатольевна Король, чл.-корр. Российской академии архитектуры и строительных наук, д-р техн. наук, проф., зав. каф. жилищно-коммунального комплекса, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Вера Владимировна Галишикова, д-р техн. наук, доц., проф. каф. железобетонных и каменных конструкций, проректор, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Редакционная коллегия

Павел Алексеевич Акимов, д-р техн. наук, проф., академик РААСН, ректор, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Милан Голицки, д-р, проф., Институт Клокнера Чешского технического университета в Праге, Чешская Республика

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

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

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

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

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

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

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

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

Андрей Будимирович Пономарев, д-р техн. наук, проф., зав. каф. строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Российская Федерация

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

Светлана Васильевна Самченко, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры Технологии вяжущих веществ и бетонов, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

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

Редакция журнала

Выпускающий редактор: *Анна Александровна Дядичева*

Редактор: *Татьяна Владимировна Бердникова*

Перевод на английский язык: *Ольга Валерьевна Юденкова*

Корректор: *Любовь Владимировна Светличная*

Дизайн и верстка: *Алина Германовна Алейникова*

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

Председатель редакционного совета

Александр Романович Туснин, д-р техн. наук., доц., проф. каф. металлических и деревянных конструкций, проректор, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Редакционный совет

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

Юрий Михайлович Баженов, акад. Российской академии архитектуры и строительных наук, д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологии вяжущих веществ и бетонов, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

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

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

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

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

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

Александр Витальевич Гинзбург, д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

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

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

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

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

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

Рашид Абдуллович Мангушев, д-р техн. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, зав. каф. геотехники, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Российская Федерация

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

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

Екатерина Владимировна Нежникова, д-р экон. наук, доц., проректор, зав. каф. экономики и управления в строительстве, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

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

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

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

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

Евгений Иванович Пупырев, почетный член Российской академии архитектуры и строительных наук, д-р техн. наук, проф., консультант каф. гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

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

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

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

Владимир Ильич Травуш, д-р техн. наук, проф., академик и вице-президент РААСН, зам. генерального директора-главный конструктор, ЗАО «Горпроект», Москва, Российская Федерация

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

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

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

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

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

VESTNIK ^{MGSU}

Monthly Journal on Construction and Architecture

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

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

Thematic sections

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

ISSN	1997-0935 (Print) 2304-6600 (Online)
Publication Frequency:	Monthly
Founders:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337; Limited Liability Company “ASV Publishing House”, 19, building 1 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337.
The Journal enjoys the academic and informational support provided by	The Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), International public organization of assistance to construction education (ASV)
Publisher:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337 Website: www.mgsu.ru E-mail: journals@mgsu.ru
Printing House:	Printing house of the Publishing house MISI – MGSU building 8, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337 tel. (499) 183-91-44, 183-67-92, 183-91-90.
Website journal:	http://vestnikmgsu.ru
E-mail:	vestnikmgsu@mgsu.ru , journals@mgsu.ru
Subscription:	Citizens of the CIS and other foreign countries can subscribe by catalog agency “Informnauka”, magazine subscription index 18077.
Signed for printing:	25.02.2022.

Distributed by subscription

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

Editor-in-Chief

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

Deputy Editor-in-Chief

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

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

Editorial Board

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

Piotr Banaszuk, Bialystok University of Technology, Republic of Poland

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

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

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

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

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

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

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

Stanislav 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

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

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

Josef Vichan, University of Zilina, Slovak Republic

Joost Walraven, Delft University of Technology, Netherlands

Zbigniew Wojcicki, Wroclaw University of Technology, Republic of Poland

Editorial team of issues

Executive editor: *Anna A. Dyadicheva* **Corrector:** *Lyubov' V. Svetlichnaya*

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

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

Chairman of the Editorial Board

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

Editorial Council

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ekaterina V. Nezhnikova, 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

Evgeny I. Pupyrev, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

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

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

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

Vladimir I. Travush, CJSC "Gorproject", Moscow, Russian Federation

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

П.В. Скрябин

Сценарно-сетевой подход в градостроительном развитии Абакано-Енисейского бассейна расселения 135

Фам Тхи Хонг Тхам, А.К. Соловьев, С.С. Корнеев

A field study on effects of openings on thermal performance of natural cooling efficiency for atrium buildings (Натурное исследование влияния проемов на тепловые характеристики при естественном охлаждении зданий с атриумами). 149

Д.Н. Власов, Е.Г. Гогина, Н.В. Широкая

Оценка территориального развития у станций городской железной дороги 159

Н.В. Данилина, Р.К.А. Алдайни

Влияние религиозного туризма на качество системы транспортного обслуживания исторического города 168

Е.А. Попихина, Е.С. Трепова, С.С. Хазова

Защита строительных материалов от биоповреждения 178

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

Н.А. Перминов

Геотехническое моделирование взаимодействия крупногабаритного опускного колодца с неоднородной грунтовой средой при погружении 188

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

К.Л. Чертес, О.В. Тупицына,

В.Н. Пыстин, Н.И. Шестаков, А.П. Сеяноко, Д.Е. Быков

Сооружения обработки осадков сточных вод крупного региона — как многокомпонентная система 205

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Р.Ш. Мансуров, Ю.Е. Воскобойников, В.А. Боева

Heat transient processes identification of the elements of internal environment system (Идентификация переходных процессов теплообмена элементов системы обеспечения микроклимата). 222

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А.А. Латидус, А.Н. Макаров

Применение риск-ориентированного подхода при выполнении функций строительного контроля технического заказчика 232

Е.А. Гусакова, А.С. Павлов

Государственные закупки в строительстве — зарубежная практика 242

Требования к оформлению научной статьи 253

CONTENTS

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION AND REFURBISHMENT

Pavel V. Skryabin

**A scenario-and-network approach to the urban planning development
of the Abakan-Yenisei settlement system 135**

Hong-Tham T. Pham, Aleksey K. Solovyev, Sergey S. Korneev

**A field study on effects of openings on thermal performance
of natural cooling efficiency for atrium buildings 149**

Denis N. Vlasov, Ekaterina G. Gogina, Natalia V. Shirokaya

Assessment of the spatial development of areas adjacent to urban railway stations 159

Nina V. Danilina, Raeda K. Ali Aldaini

The impact of religious tourism on the quality of the urban transport system in the historical city 168

Elena A. Popikhina, Ekaterina S. Trepova, Svetlana S. Khazova

Protection of building materials from biodeterioration 178

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

Nikolay A. Perminov

**The geotechnical modeling of interaction between a large-sized
lowered structure and heterogeneous soil environment in the process of embedment 188**

SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN ECONOMY

Konstantin L. Chertes, Olga V. Tupitsyna,

Vitaliy N. Pystin, Nikolay I. Shestakov, Artem P. Seyanko, Dmitry E. Bykov

Wastewater sediment treatment facilities in a large region as a multi-component system 205

ENGINEERING SYSTEMS IN CONSTRUCTION

Rustam Sh. Mansurov, Yuri E. Voskoboinikov, Vasilisa A. Boeva

**Heat transient processes identification
of the elements of internal environment system 222**

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

Azarij A. Lapidus, Aleksandr N. Makarov

A risk-based approach to construction control applied by a developer. 232

Elena A. Gusakova, Alexander S. Pavlov

Public procurement in construction: international practice. 242

Requirements for research paper design 253

ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ТЕМАТИКА ЖУРНАЛА. РЕДАКЦИОННАЯ ПОЛИТИКА

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

Тематический охват соответствует научным специальностям:

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

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

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

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

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

AIMS AND SCOPE. EDITORIAL BOARD POLICY

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

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

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

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

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

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

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 711.455.(23) : 711.113(235.222)

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.135-148

Сценарно-сетевой подход в градостроительном развитии Абакано-Енисейского бассейна расселения

Павел Владимирович Скрыбин

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ);
г. Санкт-Петербург, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Градостроительное освоение богатых ресурсами и благоприятных для жизни пространств юга Сибири наталкивается на ряд проблем: недостаток населения, низкая плотность транспортных и инженерных сетей, нарастающий социально-экономический разрыв между малыми городами и мегаполисами. Тупиковый характер современной центростремительной урбанизации приводит к «географическому сжатию» населения в нескольких точках на карте, а отечественное градостроительство опирается на советские разработки, одновременно следуя стихийным условиям неконтролируемого рынка. В данной ситуации необходим поиск новых научных основ для градостроительной деятельности. Гипотеза, выдвигаемая автором, предполагает возможность прогнозировать градостроительную деятельность, менять ее направление путем воздействия на определенные точки в системе расселения — опорные узлы (малые города и поселки с нераскрытым градостроительным потенциалом). Согласно гипотезе, опорные узлы обладают триггерным эффектом (способны вызвать изменения во всей системе расселения).

Материалы и методы. Используются утвержденные схемы территориального планирования и генеральные планы поселений. На основе сетевого и сценарного подходов прогнозирования градостроительной деятельности предложены методы выявления опорных узлов расселения в границах юга Сибири (Абакано-Енисейский бассейн расселения).

Результаты. Выявлены восемь опорных узлов в границах Абакано-Енисейского бассейна расселения (Ачинск, Шира, Абакан-Минусинск, Абаза, Ак-Довурак, Кызыл, Ирбейское и Канск), обладающих нераскрытым потенциалом развития. Предложено их градостроительное преобразование до 2050 г. в соответствии с хозяйственной специализацией: производственно-энергетической, рекреационной и аграрной.

Выводы. Градостроительную деятельность в современных условиях следует основывать на построении прогнозных сценариев. Прогнозные сценарии описывают возможные изменения планировочного каркаса системы расселения. Это позволяет выявить в планировочном каркасе опорные узлы, как точки целевого градостроительного воздействия, для рационального освоения богатых ресурсами и благоприятных для жизни пространств юга Сибири.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: градостроительство, территориальное планирование, прогнозирование, сценарий, планировочный каркас, планировочные оси, бассейн расселения, сети, узлы расселения

Благодарности. Автор выражает благодарность профессору Андрею Геннадиевичу Большакову (Иркутский национальный исследовательский технический университет) и доктору Андрею Георгиевичу Вайтенсу (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет).

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Скрыбин П.В. Сценарно-сетевой подход в градостроительном развитии Абакано-Енисейского бассейна расселения // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 2. С. 135–148. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.135-148

Автор, ответственный за переписку: Павел Владимирович Скрыбин, paulskryabin@yandex.ru.

A scenario-and-network approach to the urban planning development of the Abakan-Yenisei settlement system

Pavel V. Skryabin

*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU);
Saint Petersburg, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The urban development of livable areas in southern Siberia, rich for natural resources, has encountered a number of problems. They include sparse population, a low-density network of transportation routes and engineering networks, and a growing socio-economic gap between small towns and megalopolises. The self-defeating pattern of the present-day centripetal urbanization leads to the “geographical compression” of the population into several points on the map. Domestic urban planning relies on Soviet developments and follows the arbitrary pattern of the free-wheeling market. Against this background, it is necessary to search for new scientific fundamentals. The hypothesis, proposed by the author, allows predicting urban development activities, changing their direction by influencing certain points in the settlement system, that are known as settlement points, or small towns and villages having unlocked urban development potential. According to the author's hypothesis, settlement nodes have a trigger effect (they can trigger changes in the entire settlement system).

Materials and methods. Approved area planning schemes and master layout plans were used in this work. Methods for identifying high-potential settlement nodes are proposed. They are a combination of network and scenario-based approaches to projecting urban development activities. This method was used to identify the settlement nodes in southern Siberia (the Baikal-Angarsk settlement area).

Results. Eight settlement nodes, having unlocked development potential, were identified within the boundaries of the Abakan-Yenisei settlement area (Achinsk, Shira, Abakan-Minusinsk, Abaza, Ak-Dovurak, Kyzyl, Irbeyskoye and Kansk). Their urban transformation through 2050 is proposed in compliance with their economic specialization, including the development of the local industry, power generation, recreation and agriculture.

Conclusions. In the present-day environment, urban planning activities should be based on the development of projected scenarios. Projected scenarios describe possible changes to the planning framework of a settlement system, which allows identifying settlement nodes as the points of target urban impacts focused on the rational development of livable areas in southern Siberia, rich in natural resources.

KEYWORDS: urban planning, area planning, projection, scenario, planning framework, planning axes, settlement system, networks, settlement nodes

Acknowledgements. The author is grateful to Professor Andrei Gennadievich Bolshakov (Irkutsk National Research Technical University) and Dr. Andrei Georgievich Vaytens (St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering).

FOR CITATION: Skryabin P.V. A scenario-and-network approach to the urban planning development of the Abakan-Yenisei settlement system. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(2):135-148. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.135-148 (rus.).

Corresponding author: Pavel V. Skryabin, paulskryabin@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Кризис наблюдаемой сегодня центростремительной урбанизации заключается в концентрации населения и сосредоточении инвестиционных вложений, трудовой активности в нескольких точках на карте, точнее в семи крупнейших городах — мегаполисах (Москва, Петербург, Нижний Новгород, Казань, Екатеринбург, Новосибирск, Красноярск) в ущерб градостроительному развитию более благоприятных и обширных территорий. Это вытекает из современной неопределенности градостроительного развития России, в частности системы расселения юга Сибири. Для решения этого вопроса предлагается сценарное планирование, которое позволяет сформировать видение градостроительного развития юга Сибири на основе вариантных сценариев (инерционного и прогрессивного).

Развитию юга Сибири уделяется внимание в правительстве. Так, министр обороны С.К. Шойгу и его советник А.М. Ильницкий озвучили идею формирования в Сибири научно-производственных центров¹. Однако не раскрыто градостроительное обоснование этой идеи. В данной статье предлагается альтернативный взгляд, совмещающий сетевой и сценарный подходы для градостроительного развития юга Сибири.

Для выявления перспектив градостроительного развития выделена территория юга Сибири в границах: на севере — Транссибирская и Байкало-Амурская магистрали, на юге и юго-востоке — государственная граница с Казахстаном, Китаем и Монголией, восточной границей является берег Байкала. В этих границах автором выделены три крупных бассейна расселения, где сформировались

три агломерационные системы, соответствующие трем бассейнам основных сибирских рек (рис. 1):

- Байкало-Ангарский бассейн расселения выделен в треугольнике границ БАМа, Транссиба и западного берега Байкала, охватывает южную часть территории Иркутской области;
- Обь-Алтайский бассейн расселения находится вдоль р. Обь и ее притоков Томи, Катунь и Бии, включая четыре административно-хозяйствующих субъекта (Алтайский край, Новосибирскую и Кемеровскую области, а также Республику Алтай);
- Абакано-Енисейский бассейн расселения расположен вдоль Енисея, включая его притоки — р. Абакан, р. Кан, Абазу, и охватывает территории трех административно-хозяйствующих субъектов (южную часть Красноярского края, республики Хакасия и Тыву).

Рассмотрим применение сценарно-сетевого подхода на примере Абакано-Енисейского бассейна расселения. Эта территория отличается наиболее низкой плотностью расселения, специфическими природно-ландшафтными условиями, а также богатой производственно-энергетической базой, возможностями развития сельского хозяйства (животноводства), а также рекреационной деятельности (отдых, туризм, лечение).

Основная проблема исследуемой территории состоит в противоречии между наличием хозяйственно-экономического потенциала для градостроительной деятельности и слабой градостроительной освоенностью с деградирующей системой расселения. Впрочем, отрицательная динамика градостроительного освоения на протяжении всей истории Сибири (XVI–XXI вв.) наблюдается лишь последние 26 лет и не является характерной для ее регионов.

Цель исследования — определить и обосновать перспективы градостроительного развития Абакано-Енисейского бассейна расселения в южной части Сибири.

¹ Зачем Шойгу поручили построить новую Столицу в Сибири и еще 5 городов. «Русский ковчег». URL: https://www.youtube.com/watch?v=_zYFjntU9vI



Рис. 1. Границы исследуемой территории — границы бассейнов расселения (Обь-Алтайского, Абакано-Енисейского и Байкало-Ангарского) в составе южно-сибирской системы расселения

Fig. 1. The boundaries of the studied area, or the boundaries of the Ob-Altai, Abakan-Yenisei and Baikal-Angarsk settlement systems within the framework of the south Siberian settlement system

Задачи настоящей работы:

- выявить структурные особенности планировочного каркаса расселения Абакано-Енисейского бассейна расселения на основе исторического контекста;
- построить планировочную модель расселения для изучаемой территории;
- определить перспективы градостроительного развития до середины XXI в. (до 2050 г.) в формате сценарных вариантов.

Литературные источники предлагается разделить на два блока: первый состоит из публикаций,

посвященных специфическому опыту сибирского градостроительства, ко второму блоку следует отнести научно-методологические наработки по закономерностям формирования и развития градостроительных структур.

Особенности формирования и развития сибирских городов изложены в трудах профессора Г.Н. Туманика [1]. Влияние внешних транспортных связей на планировочную организацию сибирских городов описывается в диссертации Г.П. Ерохина [2]. Механизмы самоорганизации и принципы управления

системы регионального расселения Западной Сибири изложены в работе Л.П. Фукса [3]. Перспективы развития западносибирской системы расселения отображены профессором Б.И. Оглы [4]. Основы организации систем расселения, исходя из экологической емкости территории (объема пресной воды в реках, площади лесов, вырабатывающих кислород, площади сельскохозяйственных угодий с плодородной почвой, а также суммарной площади пригодных для застройки участков), предложены академиком В.В. Владимировым [5]. Ландшафтно-обоснованная градостроительная деятельность, ориентированная на сообразность природно-экологическим условиям территории, разработана профессором А.Г. Большаковым [6].

Вопросы создания формирования и освоения планировочных каркасов (сетей и решеток) рассмотрены в ряде публикаций зарубежных авторов. Теория центральных мест разработана Вальтером Кристаллером в 1930 годы, получив продолжение в научных трудах географов и экономистов, среди которых известна публикация Лесли Кинга [7] на тему центральных мест в территориальном планировании. Влияние сети транспортных связей на размещение городов и динамику их развития изучено доктором Вашингтонского университета Маркусом Берлиантом [8], Вероникой Кулмер [9], группой исследователей М. Вивиян, Р. Саммерсом и В. Андреасом [10]. Модель природно-экологического (зеленого) каркаса в региональном масштабе предложена доктором Робертом Гудспидом [11]. Сценарный подход в прогнозировании градостроительной деятельности рассмотрен в публикациях Авена Ури [12], Кнаапа [13], А. Хаки [14] и Джона Ратклиффа [15, 16], Чарльзом Хохом [17], Льюисом Д. Хопкинсом [18], Марией А. Запата [19], Б.Н. Кузык [20]. Интересны работы, посвященные моделированию экологических процессов под действием урбанизации, Алинг Кай [21], исследованию градостроительных сетей С. Андрэ [22], процессам формирования коммуникационных коридоров вдоль планировочных осей Андрэ Брандта [23].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использованы материалы по историческому развитию поселений Сибири (карты, исторические планы городов), а также Стратегия пространственного развития России до 2025 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 13.02.2019 № 207) и современные документы территориального планирования по административно-хозяйствующим субъектам, расположенным в границах Абакано-Енисейского бассейна расселения. Изученные материалы помогли автору сформулировать применительно к исследуемой территории сценарный и сетевой подходы.

Сетевой подход предполагает градостроительное освоение любой территории как совокупность

определенных пространственных каркасных сеток (транспортной, функциональной и природной), на пересечении осей которых расположены узлы. Метод «каркасных сеток» заключается в выявлении опорных узлов расселения в точках пересечения планировочных осей разного значения, относящихся к разным каркасным сеткам.

Сценарный подход описывает возможные варианты развития планировочного каркаса, рассматривая два возможных сценария — инерционный и прогрессивный. Метод «градостроительной акупунктуры» или метод узловых точек подразумевает способ градостроительного воздействия на опорные узлы расселения, установленные методом каркасных сеток. Такое влияние, обладая триггерным эффектом, вызывает изменения во всей системе расселения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выявлены структурные особенности планировочного каркаса Абакано-Енисейского бассейна расселения на основе исторического контекста. Определены циклы градостроительного освоения Сибири длительностью 150 лет каждый (более подробный анализ циклов градостроительного освоения Сибири изложен в диссертационном исследовании Г.П. Ерохина [1]). Циклы градостроительного освоения Сибири:

1. Речной (1590–1730) характеризуется транспортировкой и перемещением грузов водным путем по сибирским рекам, строительством городов-островов, которые располагались на берегах крупных рек при впадении в них малых рек и притоков. Город-остров был административно оборонительным центром, окруженным аграрными или промысловыми поселениями на расстоянии часовой пешеходной доступности (пять км).

2. Дорожный (1730–1880) обусловлен строительством транссибирской сухопутной дороги Московско-Сибирского тракта, линия которого изначально повторяла кривую синусоиду изгибов сибирских рек. Позднее линия была спрямлена и дополнена ответвлениями в меридиональном направлении вдоль рек. Из-за этого некоторые города, оставшись в стороне от нового тракта, исчезли с карты Сибири (Пелым, Мангазея, Каинск). В системе расселения выделились ядра расселения — губернские центры с пригородами, окруженные уездами (малыми городами в радиусе одного дня конного пути 100 км).

3. Железнодорожный этап (1880–2030) начался со строительства Транссибирской железнодорожной магистрали, связавшей европейскую часть со странами Азиатско-Тихоокеанского региона. Это привело к возникновению новых городов и угасанию некоторых старых городов. Например, крупнейший сегодня город — мегаполис Новосибирск возник на пустом месте, разрастаясь от крайней восточной опоры же-

лезнодорожного поста через Обь, г. Томск утратил статус губернского центра, г. Колывань исчез, превратившись в поселок. Система расселения приобрела сложную структуру, состоящую из групповых систем поселений, объединенных вокруг одного или двух урбанизированных узлов, а также вокруг агломерационных ядер, среди которых: Новосибирск (на пересечении Транссибом р. Обь), Красноярск (на пересечении Транссибом Енисея), Иркутск (на сближении Транссиба и Ангары), Кызыл, Братск, Кемерово и Новокузнецк вдоль р. Томи, Барнаул и Бийск, Горно-Алтайск, Абакан и Минусинск.

Таким образом, исторически сформировался каркасно-узловой характер сибирской системы расселения с расположением узлов (городов и поселков) на пересечениях транспортных осей разного значения с природными осями (сибирскими реками) разной величины. Различное значение и величина осей определяют типологические отличия этих узлов (типологические особенности сибирских городов подробно изучал Б.И. Оглы [3]).

С помощью сетевого подхода была выявлена структура планировочного каркаса Абакано-Енисейского бассейна расселения. Эта структура формируется тремя каркасными сетями: функциональной, транспортно-коммуникационной и природно-экологической.

Функциональная каркасная сеть включает аграрные оси развития сельскохозяйственной деятельности, производственно-энергетические и рекреационные оси (отдых, туризм и лечение). На исследуемой территории выделено две аграрные оси, одна из них имеет развитие в диагональном направлении в пределах плодородных степей Минусинской котловины по линии Аскиз – Минусинск – Краснокаменск. Вторая аграрная ось устанавливается в Тыве в широтном направлении от Кызыла до г. Ак-Довурак. Определены две производственно-энергетические оси, первая протянулась вдоль Транссибирской магистрали (Канско-Ачинский топливно-энергетический комплекс — КАТЭК), вторая вдоль западного берега Енисея от Красноярска до Абакана. Начало развития рекреационной оси наблюдается в западной части Хакасии по линии Шира – Аскиз на основе целебных озер: Беле, Иткуль, Шира, Тус, Шунет (минеральные воды и отложения целебных грязей в этих озерах имеют целебные свойства).

Транспортно-коммуникационная каркасная сеть включает коммуникационные коридоры, выявленные вдоль транспортных осей. Транспортные оси формируют Т-образный каркас Абакано-Енисейского бассейна расселения, в котором автор выделяет ось первого ранга — широтную трансконтинентальную Транссибирскую магистраль, ось второго ранга — меридионально ориентированную трансграничную трассу «Енисей», транспортные

оси третьего ранга — местные и межрайонные транспортные связи.

Природно-экологическая каркасная сеть формируется природными осями, а именно сибирскими реками, среди которых автор выделяет: природные оси первого ранга — основные сибирские реки (в данном случае Енисей), оси второго ранга — это притоки основных рек (Чулым, Кан, Абакан, Туба и Хемчик), а малые реки и ручьи, впадающие в притоки основных сибирских рек, предлагается отнести к природным осям третьего ранга. Вдоль природных осей следует определить экологические коридоры в границах водоохранных зон, так как низины речных пойм имеют особое экологическое значение, например, здесь накапливается ландшафтный материал (семена растений, частицы почвы, важные химические элементы, смываемые со склонов и вершин водораздельных горных хребтов).

Вторым результатом является планировочная модель расселения, построенная на основе сетевого метода. Эта модель описывает типологические особенности узлов расселения, в зависимости от расположения этих узлов на пересечении планировочных осей (функциональных, транспортных и природных), имеющих разное значение. Среди узлов расселения (города и поселки) — крупные узлы расселения с радиусом зоны влияния 240–300 км, средние с радиусом зоны влияния 50–60 км и малые, имеющие радиус зоны влияния 15–20 км.

На сближении или пересечении транспортной оси первого ранга (Транссибирская магистраль) и природной оси первого ранга (р. Енисей) сформировался крупный узел первого порядка — агломерационное ядро (г. Красноярск). На пересечении транспортной оси первого ранга и природной оси второго ранга (р. Чулым, р. Кан) выявляются средние узлы расселения первого порядка — средние и малые города (сегодня это — Ачинск и Канск). На пересечении транспортной оси первого ранга с природной осью третьего ранга (малой реки или ручья) расположены малые узлы расселения первого порядка — малые города и крупные поселки, райцентры, к которым относятся Уяр, Новочерноярский, Лазурный.

На сближении или пересечении транспортной оси второго ранга (трассой «Енисей») и природной оси первого ранга (р. Енисей) формируются крупные узлы расселения второго порядка: Абакан, Минусинск, Кызыл. На пересечениях транспортной связью второго ранга природной оси того же ранга — притока Енисея (р. Абаза) выделяются средние узлы расселения второго порядка (г. Абаза). На пересечении транспортной оси второго ранга и малой реки или ручья выделяется малый узел расселения второго порядка — крупный поселок, райцентр.

На пересечениях транспортных осей третьего ранга (межрайонные транспортные связи), природ-

ных осей второго ранга (крупные притоки Енисея) расположены крупные узлы расселения третьего порядка — райцентры муниципальных районов. На пересечениях с природными осями третьего ранга (малыми реками и ручьями) находятся малые узлы расселения третьего порядка — центры сельских поселений.

Согласно этой модели (рис. 2), становится очевидным, что города и поселки, расположенные на пересечении наиболее значимых планировочных осей, обладают наиболее выгодным экономгеографическим положением. Однако потенциал многих из них сегодня не используется. Например, г. Канск, находящийся на пересечении Транссиба с притоком Енисея, имеет потенциал развития как крупнейший транспортно-производственный узел.

Третий результат исследования — создание двух сценариев возможного градостроительного развития (деградации) Абакано-Енисейского бассейна расселения на период до середины XXI в. (инерционного и прогрессивного).

Инерционный сценарий, интерполируя существующие сегодня явления в градостроительной деятельности на грядущую временную перспективу (следуя утвержденным планам и стратегиям), не предлагает ничего инновационного и революционного. Согласно этому в Байкало-Ангарском бассейне будет нарастать центростремительный процесс усиления трех агломераций:

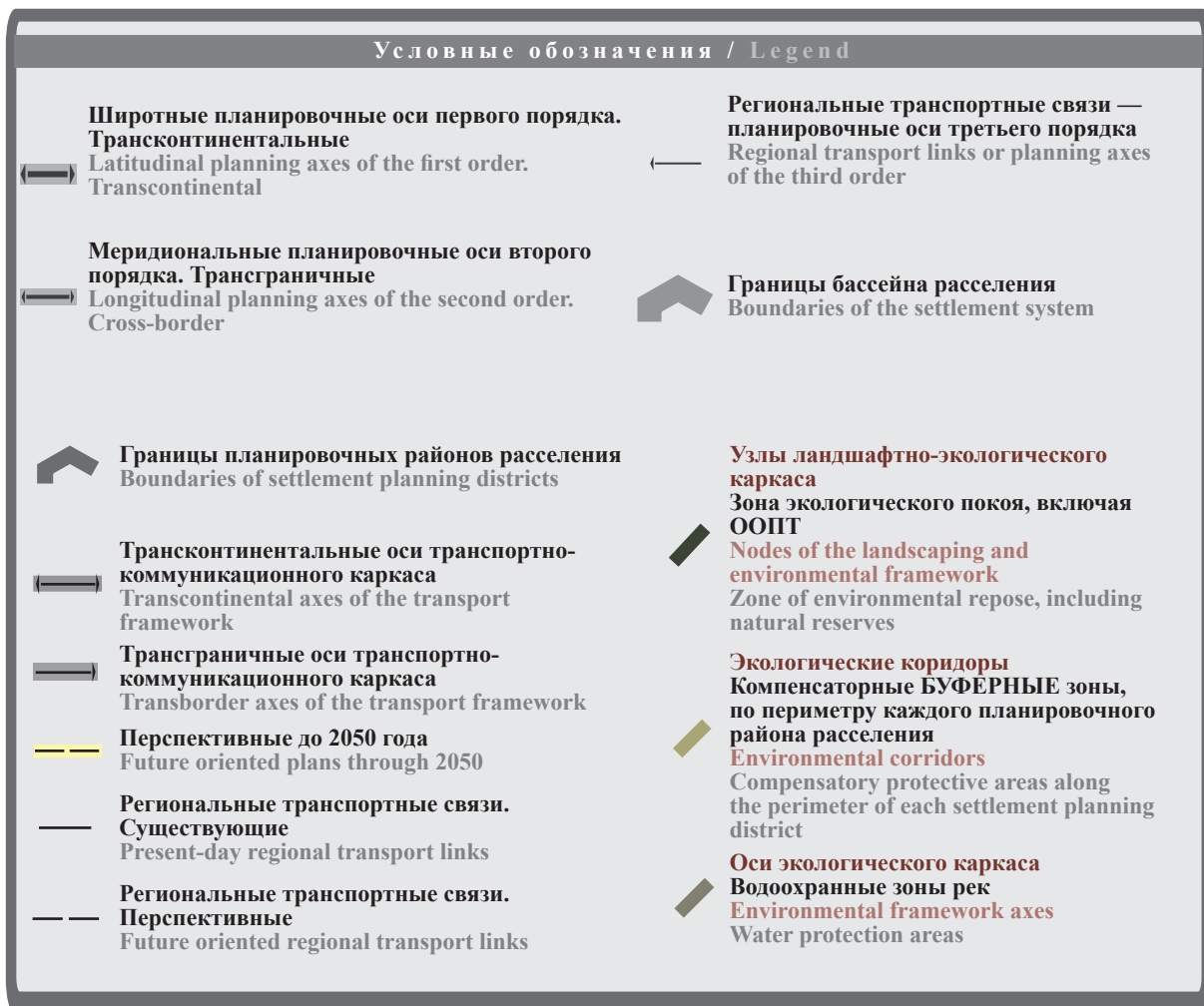
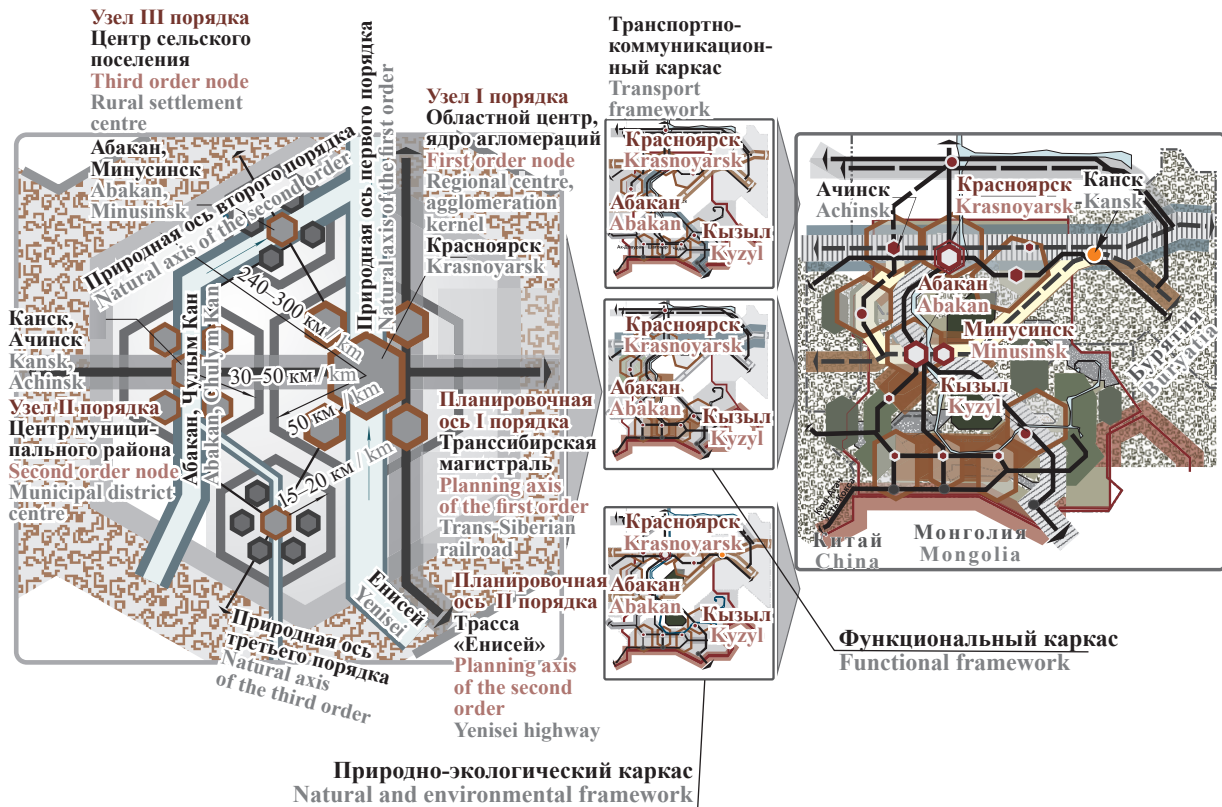
- Красноярской, радиус влияния которой составляет 60 км (расстояние одночасового автомобильного перегона по трассе), охватывает поселения и города Железнодорожск, Сосновоборск, Дивногорск, Емельяново и Березовку;
- Абакано-Минусинской, которая расположена по обоим берегам Енисея. Агломерация включает в 60-километровую зону своего влияния поселки Аскиз, Курагино и Саяногорск;
- Кызыльской, состоящей из малого г. Туран на севере, с. Элегест на юге, Сарыг-Сеп на востоке и с. Баян-Кол на западе (радиус влияния 60 км).

В рамках инерционного сценария методом узловых точек выделено три агломерационных ядра — города Красноярск, Абакан и Кызыл с окружающими их пригородами. В остальных малых городах и поселках будет наблюдаться снижение численности населения из-за стагнации градообразующей базы, стремительное обветшание основных фондов (зданий и строений, инженерных и транспортных сетей). Незначительный прирост населения (по утвержденным прогнозам) составит: в Красноярском крае — с 2,9 до 3,0 млн, в Хакасии — с 5,32 до 5,6 млн и в Тыве — с 0,33 до 0,36 млн. Население к 2050 г. будет сконцентрировано вокруг трех агломерационных ядер: Красноярска, Абакана и Кызыла. В связи с этим формирование новых и развитие существующих планировочных осей, а вместе с ними и узлов расселения не предвидится.

Прогрессивный сценарий исходит из антропогенной емкости всей территории Абакано-Енисейского бассейна расселения, т.е. суммарной площади потребных территорий для нужд расселения по четырем основным потребностям человека: производственная деятельность (труд), сельскохозяйственная деятельность (еда), рекреационная деятельность (отдых) и сохранение экологического равновесия — компенсаторная зона, что включает:

- экологическую емкость, обусловленную величиной объема пресной воды в реках (175–180 км³ в год) и средней величиной воспроизводства кислорода лесной растительностью (180–200 кг в сутки, или 45,3–50,4 тыс. м³ кислорода с одного гектара в год). Важно также учитывать площадь неприкосновенных для хозяйственной деятельности природных территорий — 891,5 тыс. га. С учетом коэффициента перехода для изъятых из атмосферы кислорода или воды из поверхностных источников 2,5 получим максимально возможную численность населения в границах данной территории, сопоставимую с населением самого большого мегаполиса мира — 22 млн 364 тыс. чел.;
- рекреационную емкость (определяется площадью территории для развития рекреационной деятельности — 55 018,9 тыс. га, учитывая средний показатель рекреационной нагрузки 7 чел./га), которая составит 7 млн 860 тыс. чел.);
- сельскохозяйственную емкость (устанавливается площадью территории для сельского хозяйства 10 511,6 тыс. га и мировым показателем обеспеченности сельскохозяйственными угодьями на душу населения — 0,23), территория в границах Абакано-Енисейского бассейна расселения способна обеспечить сельхозпродукцией 45 млн чел.;
- производственно-энергетическую емкость (определяется площадью территории для расширенного хозяйственного освоения, в том числе для размещения объектов производства, энергетики, разработки полезных ископаемых), которая составляет 301,1 тыс. га.

В отношении функционального каркаса предлагается рассмотреть развитие его осей. Возможно продление на юг рекреационной оси вдоль планировочной связи Ачинск – Шира – Абаза – Ак-Довурак на основе лечебных озер Хакасии (Шира, Беле, Итколь, Тус, Фыркал, Красное), уникальных ненарушенных хозяйственной деятельностью горных ландшафтов Саян и самобытной культуры сибирских народов. Формирование рекреационной оси целесообразно исследовать в восточной части Тывы вдоль кольцевого маршрута Кызыл – Кунгуртук – источник Тарыс – Сарыг-Сеп по верховьям Енисея на основе горных озер и целебных геотермальных источников. Одновременно, возможно создание двух параллельных аграрных осей развития сельскохозяйственной деятельности в Республике Тыва по широтным связям Ак-Довурак –



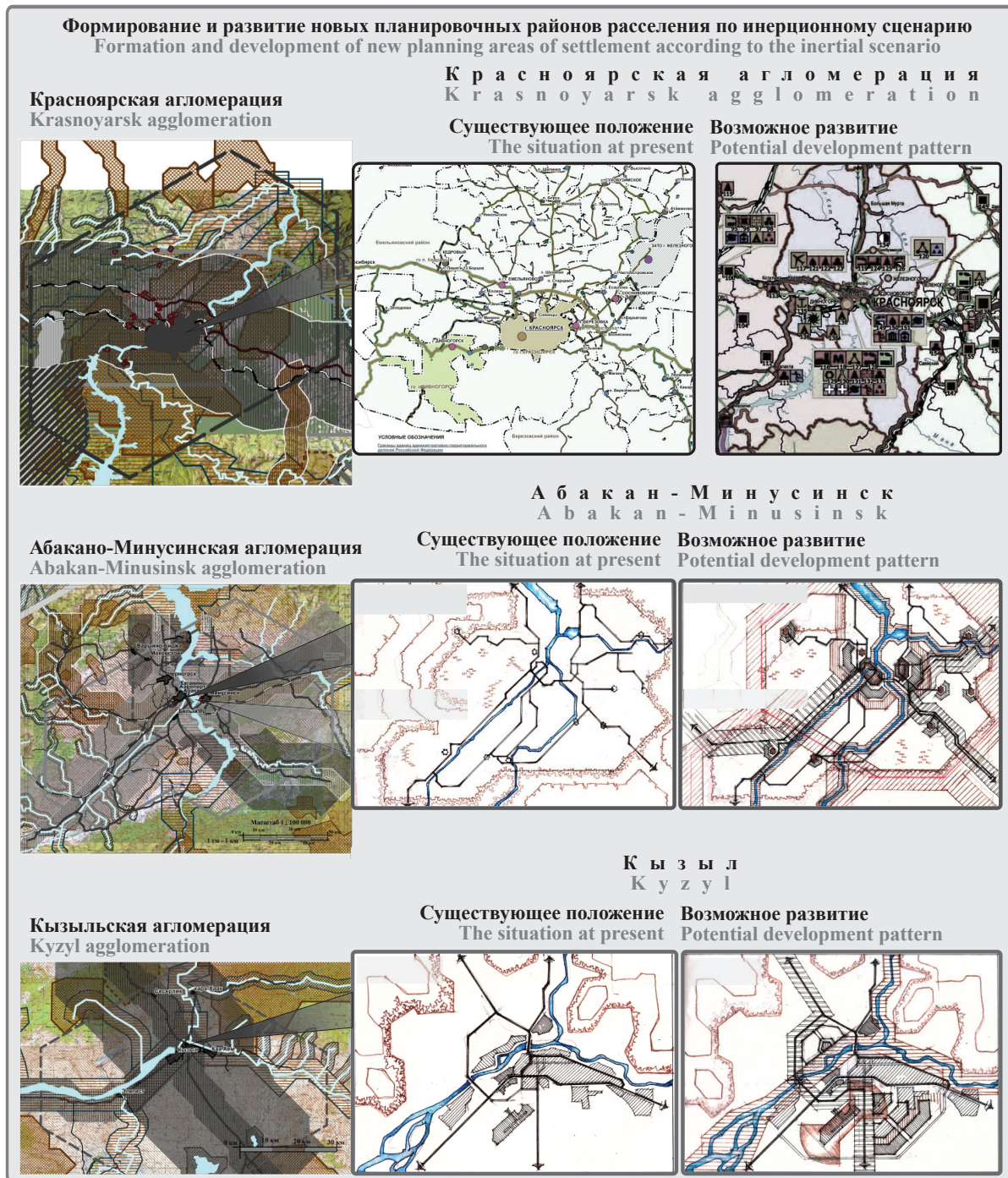


Рис. 2. Применение планировочной модели расселения по инерционному сценарию

Fig. 2. Application of the settlement planning model according to the inertial scenario

Шагонар – Чадан – Кызыл и Мугур-Аксы – Хандагайты – Самагалтай вдоль границы с Монголией на основе плодородных земель обширной Тувинской и Убсунурской котловин. Дополнение функционального каркаса новыми хозяйственно-экономическими осями усилит развитие новых транспортно-коммуникационных коридоров.

Новый меридиональный транспортно-коммуникационный коридор возможен в случае организации новой трансграничной связи по линии Ачинск – Шира – Абаза – Ак-Довурак – Монго-

лия – Китай, дублирующей трассу «Енисей». Целесообразно создание широтного транспортно-коммуникационного коридора — южного дублера Транссибирской магистрали на базе существующей сегодня связи Казахстан – Барнаул – Новокузнецк – Абакан – Минусинск – Тайшет (на данный момент частично автодорожной, частично железнодорожной).

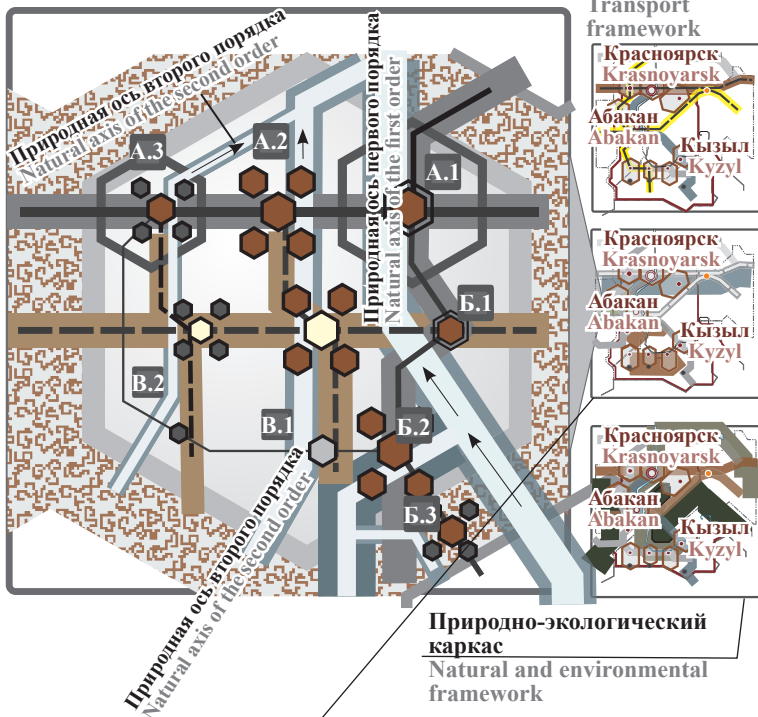
В прогрессивном развитии природно-экологического каркаса предлагается выделить экологические коридоры вдоль рек в границах водоохранных

зон с целью сохранения водных ресурсов, способности прибрежных ландшафтов обеспечивать накопление биологически активного материала (семян растений, частиц почвы, ценных минеральных элементов), необходимого для обеспечения экологического баланса. Для сохранения способности лесов насыщать атмосферу кислородом следует определить в качестве узлов природно-экологического каркаса глубинно расположенные участки речных водоразделов, покрытых темнохвойной тайгой,

связав их с природными осями посредством экологических коридоров из вновь создаваемых или сохраняемых лесных насаждений. Природно-экологическая каркасная сеть рассматривается как неотъемлемая часть планировочного каркаса.

В планировочном каркасе в результате прогрессивного развития с большей вероятностью произойдет усиление существующих и возникновение новых опорных узлов расселения. Методом каркасных сетей выявлены некоторые опорные

Планировочная модель системы расселения по прогрессивному сценарию
Planning model of a settlement system based on the progressive scenario



Функциональный каркас
Functional framework

Транспортно-коммуникационный каркас
Transport framework



Прогрессивный сценарий развития Абакано-Енисейского бассейна расселения
Progressive development scenario for the Abakan-Yenisei settlement system



Условные обозначения / Legend

- Аграрные оси
Agrarian axes
- Рекреационные оси
Recreational axes
- Производственно-энергетические оси
Production and power generation axes
- Границы планировочных районов расселения
Boundaries of settlement planning districts

Условные обозначения / Legend

- Трансконтинентальные оси транспортно-коммуникационного каркаса
Transcontinental axes of the transport framework
- Трансграничные оси транспортно-коммуникационного каркаса
Transborder axes of the transport framework
- Перспективные до 2050 года
Future oriented plans through 2050
- Региональные транспортные связи. Существующие
Present-day regional transport links
- Региональные транспортные связи. Перспективные
Future oriented regional transport links
- Узлы ландшафтно-экологического каркаса
Nodes of the landscaping and environmental framework
- Зона экологического покоя, включая ООПТ
Zone of environmental repose, including natural reserves
- Экологические коридоры
Environmental corridors
- Компенсаторные БУФЕРНЫЕ зоны, по периметру каждого планировочного района расселения
Compensatory protective areas along the perimeter of each settlement planning district
- Оси экологического каркаса
Environmental framework axes
- Водоохранные зоны рек
Water protection areas

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 17. Выпуск 2, 2022
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 17. Issue 2, 2022

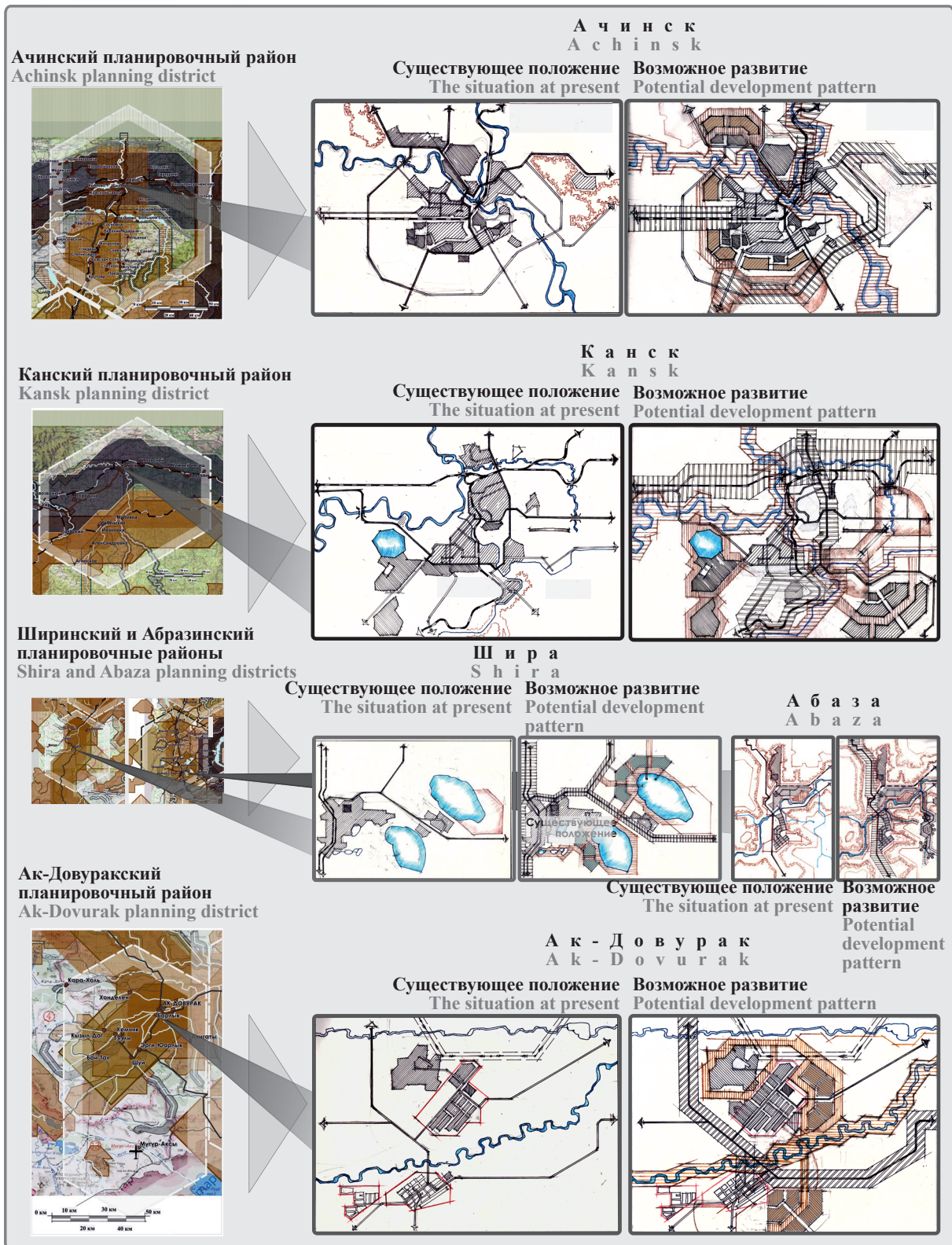


Рис. 3. Применение планировочной модели расселения по прогрессивному сценарию

Fig. 3. Application of the settlement planning model based on the progressive scenario

узлы расселения, расположенные на пересечении перспективных осей (хозяйственных, транспортных и природных) трех каркасных сетей (функциональной, транспортно-коммуникационной и природно-экологической).

На пересечении предлагаемого меридионального транспортно-коммуникационного коридора Ачинск – Ши́ра – Аба́за – Ак-Довурак – Монголия – Китай особый стимул градостроительного развития получают имеющиеся узлы расселения (рис. 3):

- г. Ачинск, расположенный на пересечении транспортной оси первого ранга — Транссиба с природной осью второго ранга — р. Чулым. Этот город способен стать средним опорным узлом расселения первого порядка;

- пос. Ши́ра предлагается выделить в качестве среднего опорного узла расселения второго порядка, расположенного на пересечении перспективной трансграничной транспортной оси второго ранга с группой целебных озер на севере Хакасии;

- малый г. Абаза, находящийся на пересечении транспортной оси второго ранга с природной осью второго ранга (р. Абакан – притока Енисея), имеет возможность стать средним опорным узлом расселения второго порядка;

- Ак-Довурак, расположенный на пересечении транспортной оси второго ранга с р. Хемчик (приток Енисея), способен развиваться как средний узел второго порядка.

В случае создания южного дублера Транссибирской магистрали — широтной трансконтинентальной оси первого ранга, на ее пересечении с перспективными природными и хозяйственными осями новое развитие получают опорные узлы: г. Аскиз, г. Абакан и г. Минусинск. Выгодным экономгеографическим положением в этом случае обладает с. Ирбейское (см. рис. 3):

- Минусинск и Абакан следует рассматривать как потенциальные крупные опорные узлы расселения первого порядка, так как города расположены на пересечении возможной трансконтинентальной оси первого ранга (южный дублер Транссиба) с природной осью первого ранга — р. Енисей;

- пос. городского типа Аскиз имеет потенциал развития как средний узел первого порядка, располагаясь на пересечении перспективной оси первого ранга с природной осью второго ранга — р. Абакан;

- с. Ирбейское является потенциальной точкой формирования среднего опорного узла расселения первого порядка, так как оно расположено на пересечении значимой для будущего развития Сибири транспортной связи Абакан – Тайшет с р. Кан — крупным притоком Енисея.

Опорные узлы расселения формируют в радиусе зоны своего влияния планировочные районы расселения. В случае реализации прогрессивного сценария в границах Абакано-Енисейского бассейна возможно создание еще семи крупных планировочных районов расселения в дополнение к трем агломерациям (выделенным в инерционном сценарии):

- Ачинский планировочный район расселения имеет перспективы формирования вокруг опорного узла — г. Ачинска (Красноярский край), обладающего потенциалом производственного и транспортно-логистического узла;

- Широ́нский планировочный район обладает перспективами создания вокруг опорного узла — райцентра Ши́ра (Хакасия), имеющего потенциал

рекреационного центра с развитием отдыха и оздоровления на основе многочисленных целебных озер;

- Абазинский планировочный район имеет перспективы формирования вокруг опорного узла — г. Абаза (Хакасия), данный узел способен выполнять функции транспортно-логистического центра и базового рекреационного центра в Западных Саянах;

- Ак-Довуракский планировочный район отличает потенциал формирования с центром в г. Ак-Довурак (Тыва), где целесообразно размещение сельскохозяйственных производств;

- Шагонарский планировочный район следует выделить вокруг пос. Шагонар (Тыва) — потенциального аграрного центра с возможностью развития животноводства и растениеводства;

- Чаданский планировочный район выделяется вокруг опорного узла расселения пос. Чадан (Тыва) — потенциального центра для размещения сельскохозяйственных производств в области животноводства и растениеводства;

- Канский планировочный район предлагается выделить вокруг опорного узла расселения — г. Канска с возможностью дополнить сегодняшнюю горнодобывающую промышленность новыми производствами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследована основа для нового направления, а именно сценарно-сетевых методов планирования градостроительной деятельности: метод каркасных сетей и метод узловых точек. Данные методы были получены в процессе решения поставленных задач. Решены следующие задачи:

- выявлены структурные особенности планировочного каркаса Абакано-Енисейского бассейна расселения, которые обусловлены взаимодействием трех каркасных сетей (транспортно-коммуникационной, функциональной и природно-экологической), что определяет типологию и расположение узлов расселения;

- построена планировочная модель расселения для изучаемой территории, которая описывает возможные изменения в системе расселения за счет преобразования и развития осей планировочного каркаса;

- составлены сценарии градостроительного развития до середины XXI в. (до 2050 г.) — инерционный и прогрессивный, что позволило определить опорные узлы расселения, обладающие нераскрытым потенциалом, и предложить возможные направления их развития.

Возможные перспективы разработки данной темы лежат в области:

- прогнозирования градостроительной деятельности за счет выявления новых возможностей освоения территории;

- определения узловых точек градостроительной деятельности не только в региональном масшта-

бе, но и на планировочном уровне городов и поселений с расчетом сценарных вариантов их развития;

- в области установления узловых точек и корректировки консолидированных схем территориального планирования, объединяющих несколько административно-хозяйствующих субъектов (областей, краев и республик, а также нескольких муниципальных районов).

Научный интерес представляет возможность аналогичного исследования применительно к другим подобным территориям, например, Урала, Забайкалья, Дальнего Востока. Для этих регионов также характерна разряженная каркасно-узловая система расселения на обширных пространствах с богатым потенциалом градостроительного освоения и благоприятными условиями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Туманик Г.Н. Региональные особенности формирования и развития центра крупного (крупнейшего) города Сибири. Новосибирск : НГАХА, 2004. 140 с.
2. Ерохин Г.П. Влияние внешних транспортных коммуникаций на архитектурно-планировочную организацию городов Западной Сибири : дис. ... канд. арх. Новосибирск, 1998. 171 с.
3. Фукс Л.П. Региональное расселение как система: самоорганизация и принципы управления: исследовательская модель расселения на юге Западной Сибири : дис. ... д-ра геогр. наук. СПб., 2007. 390 с.
4. Оглы Б.И., Еремин И.П., Горнева М.И. Формирование перспективной сети населенных мест Западной Сибири // Известия вузов. Строительство и Архитектура. 1976. № 3.
5. Владимиров В.В. Расселение и экология. М. : Стройиздат, 1996. 392 с.
6. Большаков А.Г. Градостроительная организация ландшафта как фактор устойчивого развития территории : дис. ... д-ра архит. Московский архитектурный институт (государственная академия). Иркутск, 2003. 424 с.
7. King L.J. Central place theory. Reprint. WVU Research Repository, 2020. URL: <https://researchrepository.wvu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1007&context=rri-web-book>
8. Berliant M., Watanabe A.H. A scale-free transportation network explains the city-size distribution // Quantitative Economics. 2011. Vol. 9. Issue 3. Pp. 1419–1451. DOI: 10.3982/QE619
9. Kulmer V., Koland O., Steininger K.W., Fürst B., Käfer A. The interaction of spatial planning and transport policy: A regional perspective on sprawl // Journal of Transport and Land Use. 2014. Vol. 7. Issue 1. Pp. 57–77. DOI: 10.5198/jtlu.v7i1.374
10. Vivian M., Summers R., Andreas W. Nodes and corridors. A review of approaches to Nodes and Corridors planning and its potential application to Edmonton's context. University of Alberta School of Urban & Regional Planning, 2019. 60 p. URL: https://www.edmonton.ca/public-files/assets/document?path=PDF/Nodes_and_Corridors.pdf
11. Goodspeed R.R., Liu R. Gounaridis D., Lizundia C., Newell J. A regional spatial planning model for multifunctional green infrastructure // Environment and Planning B Urban Analytics and City Science. 2021. DOI: 10.1177/23998083211033610
12. Avin U., Goodspeed R. Using exploratory scenarios in planning practice // Journal of the American Planning Association. 2020. Vol. 86. Issue 4. Pp. 403–416. DOI: 10.1080/01944363.2020.1746688
13. Knaap G.-J., Engelberg D., Avin U., Erdogan S., Ducca F., Welch T.F. et al. Modeling Sustainability Scenarios in the Baltimore–Washington (DC) Region Implications for Methodology and Policy // Journal of the American Planning Association. 2020. Vol. 86. Issue 2. Pp. 250–263. DOI: 10.1080/01944363.2019.1680311
14. Khakee A. Scenario construction for urban planning // Omega. 1991. Vol. 19. Issue 5. Pp. 459–469.
15. Ratcliffe J., Krawczyk E. Imagineering city futures: The use of prospective through scenarios in urban planning // Futures. 2011. Vol. 43. Issue 7. Pp. 642–653. DOI: 10.1016/j.futures.2011.05.005
16. Ratcliffe J. Strategic planning policy post-pandemic: the “Great Land Question” // Journal of Property Investment and Finance. 2021. DOI: 10.1108/JPIF-03-2021-0026
17. Hoch C. Utopia, scenario and plan: A pragmatic integration // Planning Theory. 2014. Vol. 15. Issue 1. DOI: 10.1177/1473095213518641
18. Hopkins L.D., Zapata M. Engaging the future: Forecasts, scenarios, plans, and projects. Cambridge, MA : Lincoln Institute of Land Policy, 2007. 23 p.
19. Zapata M.A., Kaza N. Radical uncertainty: scenario planning for futures // Environment and Planning B: Planning and Design. 2015. Vol. 42. Issue 4. Pp. 754–770.
20. Кузык Б.Н. Инновационное развитие России: сценарный подход. М. : Ин-т экономических стратегий, 2009. 31 с.
21. Cai A., Wang J., MacLachlan I., Zhu L. Modeling the trade-offs between urban development and ecological process based on landscape multi-functionality and regional ecological networks // Journal of Environmental Planning and Management. 2020. Vol. 63. Issue 13. Pp. 1–23. DOI: 10.1080/09640568.2020.1723507
22. Sevtsuk A. Analysis and planning of urban networks // Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining. 2017. DOI: 10.1007/978-1-4614-7163-9_43-1

23. Brand A., Drewes J.E. Regional corridor model: Towards a regional corridor model // *Environment and Planning B*. 2021. Vol. 48. Issue 9. Pp. 2691–2709. DOI: 10.1177/2399808320987844

Поступила в редакцию 3 декабря 2021 г.

Принята в доработанном виде 9 февраля 2022 г.

Одобрена для публикации 9 февраля 2022 г.

ОБ АВТОРЕ: Павел Владимирович Скрыбин — кандидат архитектуры, доцент, доцент кафедры градостроительства; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ); 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4; РИНЦ ID: 954888, ORCID: 0000-0003-1903-6444; paulskryabin@yandex.ru.

REFERENCES

1. Tumanik G.N. *Regional features of the formation and development of the center of a large (largest) city in Siberia*. Novosibirsk, Novosibirsk State University of Architecture, 2004; 140. (rus.).
2. Erohin G.P. *The influence of external transport communications on the architectural and planning organization of cities in Western Siberia*. Novosibirsk, 1998; 171. (rus.).
3. Fuks L.P. *Regional settlement as a system: self-organization and management principles: a research model of settlement in the South of Western Siberia*. St. Peterburg, 2007; 390. (rus.).
4. Ogly B.I., Eryomin I.P., Gorneva M.I. A promising network of settlements in Western Siberia. *News of higher educational institutions. Construction and Architecture*. 1976; 3. (rus.).
5. Vladimirov V.V. *Settlement and ecology*. Moscow, Stroyizdat, 1996; 392. (rus.).
6. Bol'shakov A.G. *Urban planning landscape organization as a factor of sustainable territory development*. Irkutsk, 2003; 424. (rus.).
7. King L.J. *Central Place Theory*. Reprint. WVU Research Repository, 2020. URL: <https://research-repository.wvu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1007&context=rri-web-book>
8. Berliant M., Watanabe A.H. A scale-free transportation network explains the city-size distribution. *Quantitative Economics*. 2011; 9(3):1419-1451. DOI: 10.3982/QE619
9. Kulmer V., Koland O., Steininger K.W., Fürst B., Käfer A. The interaction of spatial planning and transport policy: A regional perspective on sprawl. *Journal of Transport and Land Use*. 2014; 7(1):57-77. DOI: 10.5198/jtlu.v7i1.374
10. Vivian M., Summers R., Andreas W. *Nodes and Corridors. A review of approaches to Nodes and Corridors planning and its potential application to Edmonton's context*. University of Alberta School of Urban & Regional Planning, 2019; 60. URL: https://www.edmonton.ca/public-files/assets/document?path=PDF/Nodes_and_Corridors.pdf
11. Goodspeed R.R., Liu R., Gounaridis D., Lizundia C., Newell J. A regional spatial planning model for multifunctional green infrastructure. *Environment and Planning B Urban Analytics and City Science*. 2021. DOI: 10.1177/23998083211033610
12. Avin U., Goodspeed R. Using Exploratory Scenarios in Planning Practice. *Journal of the American Planning Association*. 2020; 86(4):403-416. DOI: 10.1080/01944363.2020.1746688
13. Knaap G.-J., Engelberg D., Avin U., Erdogan S., Ducca F., Welch T.F. et al. Modeling Sustainability Scenarios in the Baltimore–Washington (DC) Region Implications for Methodology and Policy. *Journal of the American Planning Association*. 2020; 86(2):250-263. DOI: 10.1080/01944363.2019.1680311
14. Khakee A. Scenario construction for urban planning. *Omega*. 1991; 19(5):459-469.
15. Ratcliffe J., Krawczyk E. Imagineering city futures: The use of prospective through scenarios in urban planning. *Futures*. 2011; 43(7):642-653. DOI: 10.1016/j.futures.2011.05.005
16. Ratcliffe J. Strategic planning policy post-pandemic: the “Great Land Question”. *Journal of Property Investment and Finance*. 2021. DOI: 10.1108/JPIF-03-2021-0026
17. Hoch C. Utopia, scenario and plan: A pragmatic integration. *Planning Theory*. 2014; 15(1). DOI: 10.1177/1473095213518641
18. Hopkins L.D., Zapata M. *Engaging the future: Forecasts, scenarios, plans, and projects*. Cambridge, MA, Lincoln Institute of Land Policy, 2007; 23.
19. Zapata M.A., Kaza N. Radical uncertainty: scenario planning for futures. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 2015; 42(4):754-770.
20. Kuzyk B.N. *Innovative development of Russia: scenario approach*. Moscow, 2009; 31. (rus.).
21. Cai A., Wang J., MacLachlan I., Zhu L. Modeling the trade-offs between urban development and ecological process based on landscape multi-functionality and regional ecological networks. *Journal of Environmental Planning and Management*. 2020; 63(13):1-23. DOI: 10.1080/09640568.2020.1723507
22. Sevtsuk A. Analysis and Planning of Urban Networks. *Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining*. 2017. DOI: 10.1007/978-1-4614-7163-9_43-1

23. Brand A., Drewes J.E. Regional corridor model: Towards a regional corridor model. *Environment and Planning B*. 2021; 48(9):2691-2709. DOI: 10.1177/2399808320987844

Received December 3, 2021.

Adopted in revised form on February 9, 2022.

Approved for publication on February 9, 2022.

BIONOTES: **Pavel V. Skryabin** — Candidate of Architecture, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Urban Planning; **Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)**; 4 2nd Krasnoarmeyskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; ID RISC: 954888, ORCID:0000-0003-1903-6444; paulskryabin@yandex.ru.

RESEARCH PAPER / НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 628.8:624.02

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.149-158

A field study on effects of openings on thermal performance of natural cooling efficiency for atrium buildings

Hong-Tham T. Pham^{1,2,3}, Aleksey K. Solovyev³, Sergey S. Korneev³

¹ Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT); Ho Chi Minh City, Vietnam;

² Vietnam National University Ho Chi Minh City (VNU-HCM); Ho Chi Minh City, Vietnam;

³ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. In this paper, we investigate the temperature stratification of buoyancy-driven natural ventilation of the atrium of building at ULK-MGSU through field experiments. The process of ventilation with different openings ratios in the translucent roofing and ground floor entrance doors are analyzed to reveal the physical insights. With this aim, the main focus of the study is to consider the temperature fields during cooling the atrium premises that increase the thermal performance of the administrative building at ULK in the summer. An expensive ventilation solution by the optimum design of the inlet-to-outlet opening area ratio in the translucent roofing covering is utilized to improve thermal comfort without reducing the level of illumination.

Materials and methods. In this study, field measurements were applied to investigate and compares temperature stratification by floors of naturally ventilated ULK atrium building with different outlet sizes and locations under hot period conditions. The results of field measurement was utilized to develop the baseline model for the computational fluid dynamics (CFD) simulation in future work.

Results. These results reveal that the sizes and locations of openings in the atrium building affect on modification of the indoor thermal condition. Moreover, energy efficiency is improved thanks to buoyancy-driven changes in air flow rate in an atrium with multiple openings.

Conclusions. This study shows that it can be possible reduce indoor air temperatures by 5 °C during the summer period. In addition to the large inlet openings at different atrium levels, a high ratio of the outlet opening area (>10 %) is recommended. The existing atrium of the building was opened 5 % of the total top-glass roof area, which helps to improve the performance of buoyancy-driven ventilation in order to achieve better atrium cooling performance and prevent the detrimental reverse air movement.

KEYWORDS: flow air enhancement, thermal stratification, thermal performance, thermal comfort, natural ventilation, cooling performance, energy performance, atrium, energy-efficient buildings, stack effect

Acknowledgment. We acknowledge the support of time and facilities from Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), (MGSU) for this study.

FOR CITATION: Hong-Tham T. Pham, Solovyev A.K., Korneev S.S. A field study on effects of openings on thermal performance of natural cooling efficiency for atrium buildings. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(2):149-158. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.149-158 (rus.).

Corresponding author: Hong-Tham T. Pham, ptham0825@gmail.com.

Натурное исследование влияния проемов на тепловые характеристики при естественном охлаждении зданий с атриумами

Фам Тхи Хонг Тхам^{1,2,3}, Алексей Кириллович Соловьев³,
Сергей Сергеевич Корнеев³

¹ Технологический университет Хошимина; г. Хошимин, Вьетнам;

² Вьетнамский национальный университет Хошимина; г. Хошимин, Вьетнам;

³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследуется влияние атриума на температурную стратификацию при естественной вентиляции внутри помещений учебно-лабораторного корпуса (УЛК) МГСУ с помощью натуральных экспериментов и анализируется физическое понимание процесса вентиляции при различном соотношении площади приточных отверстий и вытяжных отверстий в светопрозрачной кровле. Исходя из этого целью исследования является: изучение температурного

режима при охлаждении помещений атриума для улучшения тепловых характеристик административного здания УЛК летом с помощью недорогого естественного вентиляционного решения путем оптимального соотношения площади входных и выходных отверстий внизу и в светопрозрачном кровельном покрытии для повышения теплового комфорта без снижения уровня освещенности.

Материалы и методы. Использованы методы натурного исследования. Проведены натурные измерения для изучения и сравнения температурной стратификации по этажам здания с естественной вентиляцией с различными размерами и расположением отверстий в условиях жаркого периода года. Информация об измерениях в натуральных условиях затем будет использована для разработки базовой модели в будущей работе по компьютерному моделированию потоковых процессов на базе программы для гидродинамики (CFD).

Результаты. Результаты доказывают, что размеры и расположение отверстий в здании атриума влияют на изменение теплового режима в помещении, а энергоэффективность улучшается за счет изменения скорости воздушного потока, обусловленного движением в атриуме с отверстиями разных размеров.

Выводы. Исследование показало, что естественная вентиляция может снизить температуру воздуха в помещении на 5 °C в летний период. В дополнение к большим входным отверстиям рекомендуется большее соотношение площади входного отверстия к площади выходного отверстия (>10 %). В существующем здании атриума было открыто 5 % от общей площади верхней стеклянной крыши. Это помогает улучшить производительность естественной вентиляции за счет циркуляции воздуха и достичь лучшего охлаждения атриума и предотвратить вредное обратное движение воздуха.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: улучшение циркуляции, температурная стратификация, тепловые характеристики, тепловой комфорт, естественная вентиляция, эффективность охлаждения, энергоэффективность, атриум, энергетические показатели, эффект стека

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Фам Тхи Хонг Тхам, Соловьев А.К., Корнеев С.С. A field study on effects of openings on thermal performance of natural cooling efficiency for atrium buildings // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 2. С. 149–158. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.149-158

Автор, ответственный за переписку: Фам Тхи Хонг Тхам, ptham0825@gmail.com.

INTRODUCTION

Over the recent years, atria have grown in popularity in modern architecture. Atria provide space and light, hence, they become effective building ventilation elements. Therefore, this function has boosted the popularity of atria in large shopping centres, hotels, educational buildings, commercial buildings, and most public buildings. Complicated benefits of an atrium and some other contradictions make their design a challenging process. Architectural, functional, economic, environmental, structural and psychological aspects must be considered in the atrium design. Core issues should be addressed at the early design stage [1]. Besides, well-designed atria can help to significantly save energy, ensure indoor thermal comfort by taking advantage of natural ventilation that needs no mechanical equipment, and reduce demand for space conditioning [2]. In contrast, a poorly designed atrium can result in uncomfortable daytime temperatures and additional air conditioning loads [3]. In addition, designers have to encounter several problems related to the building function and climate zones. In particular, each design decision is often based on the local climate and climatic conditions. However, environmental aspects of atrium design have not been taken into account yet. A few studies address the thermal performance of large glass spaces, influenced by such factors as thermal stratification and the maximum temperature.

According to the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE, 2010), Standard 55-2010 (ASHRAE, 2010) mentions notoriously uncomfortable glass box buildings although large, sophisticated, expensive and maintenance-inten-

sive systems are used¹. In addition, problems of heat inside atria, built in hot climates, such as excessive sunlight, glare, and high temperatures lead to an increase in the energy demand of buildings [4]. Overheating is the major problem of atria during hot days that contributes to the thermal comfort reduction. The reason for overheating is that a top-lit atrium normally uses transparent or translucent roof material that allows a certain amount of daylight into the building. One standard example is the use of skylight coming through the atrium roof. Nevertheless, the ratio of the glazing area influences the heating and cooling of the atrium area [5]. Excessive glazing is inappropriate for hot climates as it increases the solar radiation penetrating into the atrium through glazed surfaces, boosts the heat gain, which subsequently raises the indoor air temperature. In addition, a multi-storied atrium with a glass roof, built in hot and humid climates, will also suffer from high air temperature stratification immediately below the rooftop [6].

Many studies have been conducted to improve indoor thermal conditions of atria. Natural ventilation in atria is the main passive cooling strategy which is initially caused by buoyancy-driven phenomena. It has been implemented all over the world as a key passive design technology employed within the framework of a sustainable approach to the architectural design of green buildings [7]. It ensures a healthy and comfortable environment by bringing fresh air into a building, and it has been considered an effective strategy towards better

¹ ANSI/ASHRAE Standard 55-2017. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017.

indoor air quality and thermal comfort [8]. Hence, this strategy is responsive to climate conditions which vary from one region to another. The driving forces of natural ventilation depend on wind effects, thermal buoyancy, their combination in naturally ventilated buildings, the heat at the top of the atrium excited by the wind driving force, and stack effect [9]. Ventilation driven only by buoyancy forces is usually the worst case for natural ventilation, especially on a warm and windless day. High density outdoor air enters low-level openings and is heated by warmed surfaces in a building. Heated air becomes lighter and leaves the building through high-level openings [10]. Therefore, atria have gained popularity in many large office buildings. In general, a buoyancy-driven flow is generated by the temperature difference, which makes the air density change. Moreover, the difference in height makes the air pressure vary [11]. In this case, an atrium has several strengths: it is a vast indoor space and a heat source that adsorbs heat emitted by a huge number of moving people. A large indoor and outdoor pressure difference results in effective natural ventilation. In practice, thermal stratification is developed between a low-level inlet and a high-level outlet [12]. The main objective of proper ventilation is to generate a sufficient ventilation rate [13]. Therefore, temperature stratification and buoyancy-driven ventilation have always been major concerns of natural ventilation systems.

However, it is obvious that the outlet opening state (opened/closed) has the most significant effect on both indoor temperatures and the airflow passing through the atrium building. For example, open stack vents allow nearly twice as much air to flow through the model and reduce the vertical temperature gradient of 7 °C. In the case of closed stack vents, the flow pattern changes and the air flows into surrounding rooms through openings on upper floors. Nevertheless, the location of outlet openings has the lowest thermal effect on atria, but the location of openings connecting the atrium and surrounding spaces has a significant influence on the airflow pattern. Therefore, a change in the location of an opening can bring the ambient air flow into the air-conditioned zone. Furthermore, a low inlet to outlet area ratio in a buoyancy-driven natural ventilation system of an atrium rises the rate of the airflow.

A great number of researchers studied different design parameters to improve the thermal performance of an atrium by investigating the effect of the opening design [14–16], the atrium shape [17, 18] or the atrium roof design [19]. For this purpose, Lin and Linden [20], Holford and Hunt [21], and Wang, Huang [22], acting independently, used theoretical and experimental methods to evaluate the thermal performance of atria featuring openings that had different characteristics (size, location, and state). Of all these characteristics, the opening size plays a more significant role. In general, the stratification of the air temperature in an atrium reduces significantly with the increase in the size

of openings [23]. However, a strong and well-distributed airflow through the building needs a well-balanced ratio of inlet to outlet openings. For example, in temperate climates, featuring buoyancy-driven ventilation, an atrium enhances the airflow throughout a storey if only its upper openings are of medium size, while its lower openings are sufficiently small [24]. In tropical regions, featuring pressurized ventilation, a sufficiently lower outlet to inlet opening area ratio ($1 > n$) can improve the thermal performance on other levels occupied by residents. Besides, a large number of openings rises the airflow rate through the atrium, but reduces the airflow rate through each floor that increases the temperature at almost all heights of the building [25].

The influence of areas of inlet and outlet openings on the thermal performance improvement, which enhances the efficiency of natural ventilation, has not been adequately studied. Although many studies have been focused on the efficiency of the areas of openings in an atrium, the knowledge about the passive design of atria is insufficient, given its complexity and lack of accurate measurement tools. As for the thermal performance, a few studies have been conducted to investigate real indoor thermal conditions using field measurements and monitoring [26, 27]. Many of the relevant studies were focused on the validation of analytical methods. If compared with other similar studies, the researched parameters of naturally ventilated atria were far from being adequate. As a result, further research on innovative solutions for naturally ventilated atria and reliable testing procedures are necessary. Towards this end, the main objectives encompass a comparative study on the areas of bottom and top openings of an atrium to be conducted by means of monitoring and site measurement.

MATERIALS AND METHODS

The main methods employed in this section are well-known research methodologies used in previous studies. A thorough study of the atrium performance is limited due to inaccuracies and limitations imposed by the available prognostication tools and controlled experiments². In general, to assess the thermal performance of an atrium, different methods such as the field study, analytical models, mathematical, numerical modeling, small scale simulation using computer modeling and their combination have been applied. Full-scale field experiments are preferable to other approaches due to the problem-free data collection and controllable conditions, and the findings of such experiments reflect real conditions without numerous assumptions.

Field measurements were taken to study and compare the thermal stratification between the floors of a naturally ventilated atrium building featuring different locations and sizes of openings in hot weather.

²ASHRAE Standard 62-2001: Ventilation for acceptable indoor air quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2001.

Field measurements were used to develop a baseline model for the future computer-based simulation.

Description of the atrium building

Proper atrium buildings that have openings at the top and bottom are relatively rare. Temperature values and flow rates in a standard atrium building are influenced by large spaces and numerous uncontrolled factors. The main building of the Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), located in Moscow, was chosen for the case study as shown in Fig. 1 *a*.

The building has five floors; it is nearly rectangular, and its dimensions are $42.2 \times 60.2 \times 23.7$ m (width/length/height), and the total floor area is 12,000 m². This is the atrium space shown in Fig. 1 *b*. The floor plan of the atrium building is shown in Fig. 2 *a, b*. In addition to the entrance, the ground level as well as the first floor are connected to the atrium. The second, third, fourth and fifth floors are connected to the central atrium that is surrounded by open classroom spaces. The atrium space is located in the middle of the building and surrounded by rooms or spaces, with a rectan-

gular floor plan dimensions of 17.4×21.2 m. Moreover, the atrium is lit from above by the skylight. The atrium itself is not air-conditioned although the surrounding office spaces are. Table 1 shows the properties of the atrium spaces in the MGSU building.

Measurement methods

This field experiment was conducted for approximately 15 consecutive days from July 15 to August 1, 2021 in the MGSU atrium building to cover cloudy and clear days. The measurement time was 9:30 to 11:00 am. The location of the measurement tool in each atrium is shown in Fig. 3.

Weekends were chosen to reduce the impact on occupants. The solar gain in the daytime contributed to the buoyancy effect. No mechanical ventilated system is installed there. Hence, only natural ventilation will be considered inside the atrium. Although corridors are connected to the stairwell on every floor, all doors were closed to avoid the air exchange. Testers monitored the doors during the whole process to prevent any unexpected problems. All doors leading to



Fig. 1. Photo of the atrium building used for case study (*a*); the inner space of the atrium building (*b*)

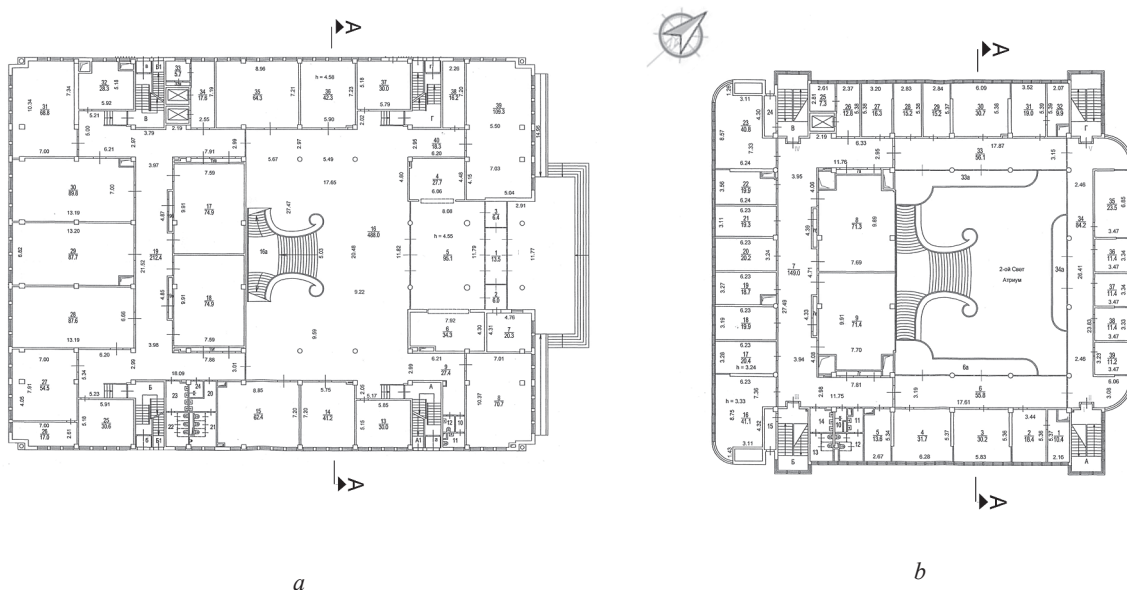


Fig. 2. Outlines of the ground floor and five floors of the atrium building: *a* — ground floor; *b* — five floors

Table 1. Atrium building characteristics ULK-MGSU

Parameter	Value
Building shape	Rectangular
Area	12,000 m ²
Building height, length, width	Height: 23.7 m 5 stories, 1st story — 4.8 m, 2nd–5th stories — 3.6 m each Length: 60.2 m Width: 42.2 m
Building orientation	North-east (N-E)
Atrium plan area	17.4 × 21.2 m
Atrium top glazing ratio	100 %
Type of atria	Centralized atrium
Openable area of the glass roof	5 %

the corridors were closed from 9:30. To monitor the effect of different opening sizes, top and bottom doors were completely open from 9:50 to 10:30, and closed from 10:30 to 11:00. Temperatures were logged every 10 min to register real-time changes (9:30, 9:35, 9:40, 9:45, and 9:50). Indoor environment data were recorded for the field measurements every 10 minutes. We used the thermal hygrometer (Testo 625) to study the influence of inner surfaces, including four glass walls. The parameters of the measurement instrument are presented in Table 2. It measures environment parameters such as relative humidity and air temperature. However, air flows and relative humidity were not measured since the air flow speed inside the atrium space was too low (<0.1 m/s). As shown by the anemometer, readings ranging from 0.03 to 0.15 were registered at selected points on the three levels on the first day.

The following four different cases were chosen:

Case 1: Completely open ground floor openings with the area of 8.28 m²; the ventilation system is turned off and outlet openings in the translucent roofing with the opening area of 19.6 m² are completely open.

Case 2: Closed ground floor openings; the ventilation system is turned off, and outlet openings in the translucent roofing is closed.

Case 3: Closed ground floor openings; the ventilation system is turned off, and outlet openings in the translucent roofing with the area of 19.6 m² is completely open.

Case 4: Completely open ground floor openings with the area of 8.28 m²; the ventilation system is turned off, and outlet openings in the translucent roofing is closed.


Each case is designed to test the significance of a particular strategy like the impact of the stack effect.

RESULTS OF THE RESEARCH

1. Case 1 and Case 2 temperature variation

In general, these field measured results clearly show that the air temperature stratification within the atrium reduced significantly with an increase in the size of openings. For the size of low- and high-level openings of 3.6 m², the difference in the air temperatures between the lower level and the next upper level floors was generally about 0.5–1 °C for Case 1 and Case 2; and it was 1–2 °C for Case 3 and Case 4. For instance, Fig. 4 *a, b* shows the air temperature breakdown by the floors with closed outlet openings in the translucent roofing for cases with different opening locations at the top of the atrium. As shown in Fig. 4 *a*, in the case of closed outlet openings in the translucent roofing, the temperature at 4 different points on the 5th floor varied from 35 to 37.7 °C. As for the measurement results in the case of open top doors, the openings reaching 10 % of the total glass roof area showed that the temperature varied from 32.5 to 34.4 °C at four different points on the 5th floor. These measurements were taken with the top door closed as shown in Fig. 4 *b*.

Table 2. Measuring equipment parameters

Device, manufacturer	Photo	Measuring equipment parameters
Testo 625 humidity/temperature measuring instrument, including plug-in humidity probe head, battery and calibration protocol		Temperature t_a , °C: –10 to +60 °C; 0.1 °C; ±0.5 °C Humidity RH, %: 0 to +100 %; 0.1 %; ±2.5 %

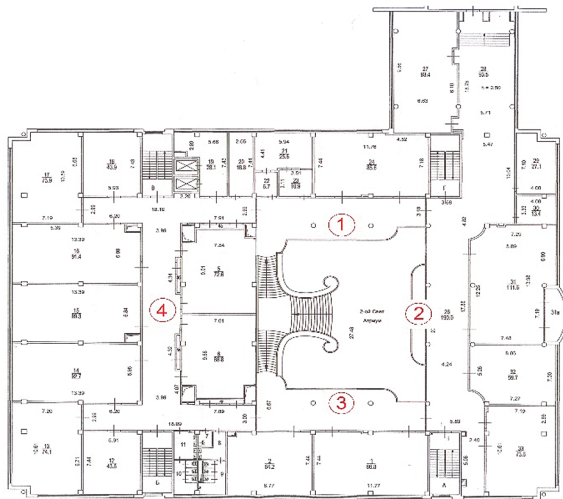


Fig. 3. Location of points of measurement on each floor

2. Case 3 and Case 4 temperature variation

The temperature measurements taken when the top openings are open and closed are shown in Fig. 5 *a, b*. These measurements were taken when the bottom doors were completely open. The results show that in the case of closed openings, the temperature at four different points on the five floors of the building varies from 34.1 to 36 °C. Meanwhile, if 10 % of the total glazing area is open, measurement results show that the temperature ranges from 32.3 to 33.2 °C at 4 different points on the 5th floor, which is 2–3 °C lower than in the case of closed openings. This shows an increase in the effectiveness of an atrium for reducing the day-time temperature by maximizing the size of openings in the atrium building.

As shown in Table 3, Case 1 is the best temperature mode in the atrium. However, Case 2 has a tem-

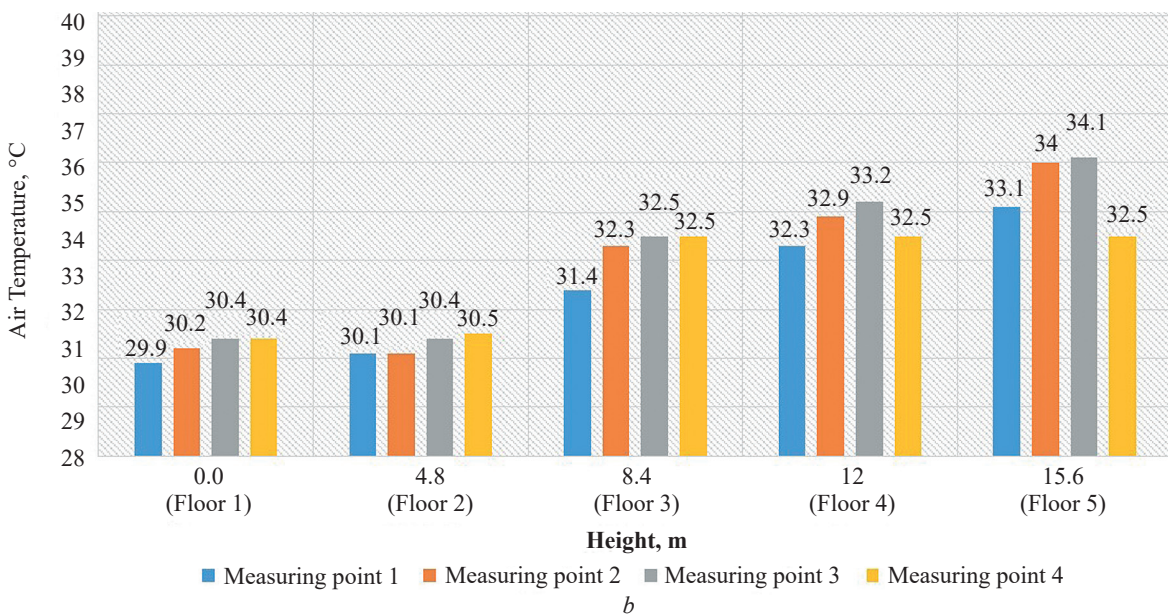
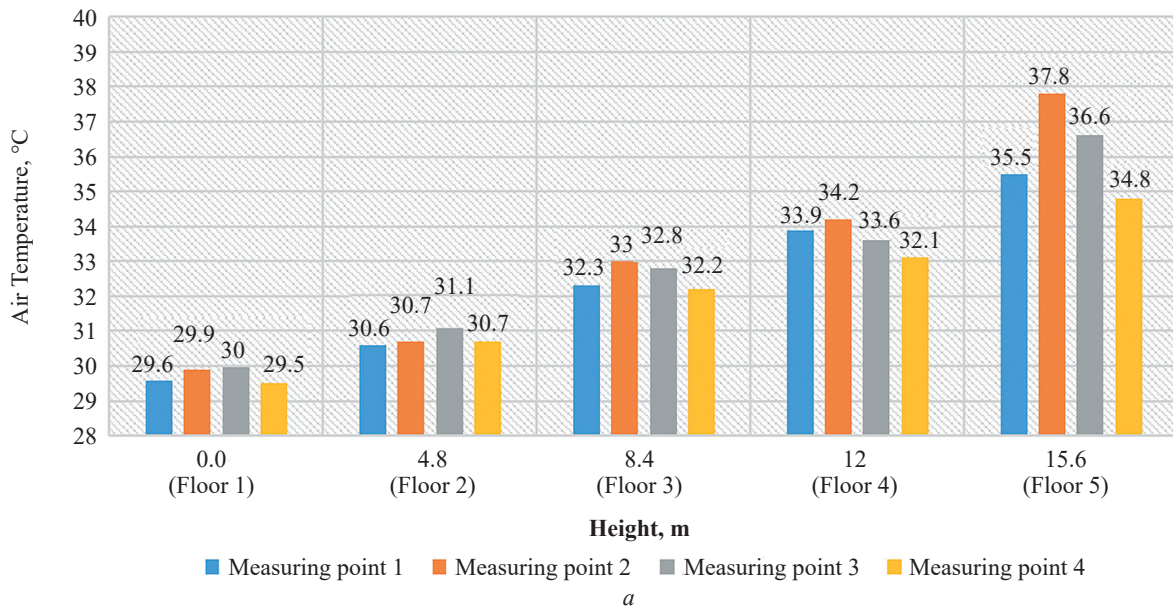


Fig. 4. The temperature distribution in the atrium building: *a* — Case 1; *b* — Case 2

Table 3. The temperature distribution at four points of the five-floor building in the atrium for different cases

Variable		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Temperature, °C	Measuring point 1	32.5	33.2	33	32.3
	Measuring point 2	33.1	34	34.1	32.5
	Measuring point 3	34.1	35.9	36	34.2
	Measuring point 4	35.5	37.8	36.6	34.8
Range		32.3–33.2	32.5–34.1	34.1–36	35–37.8

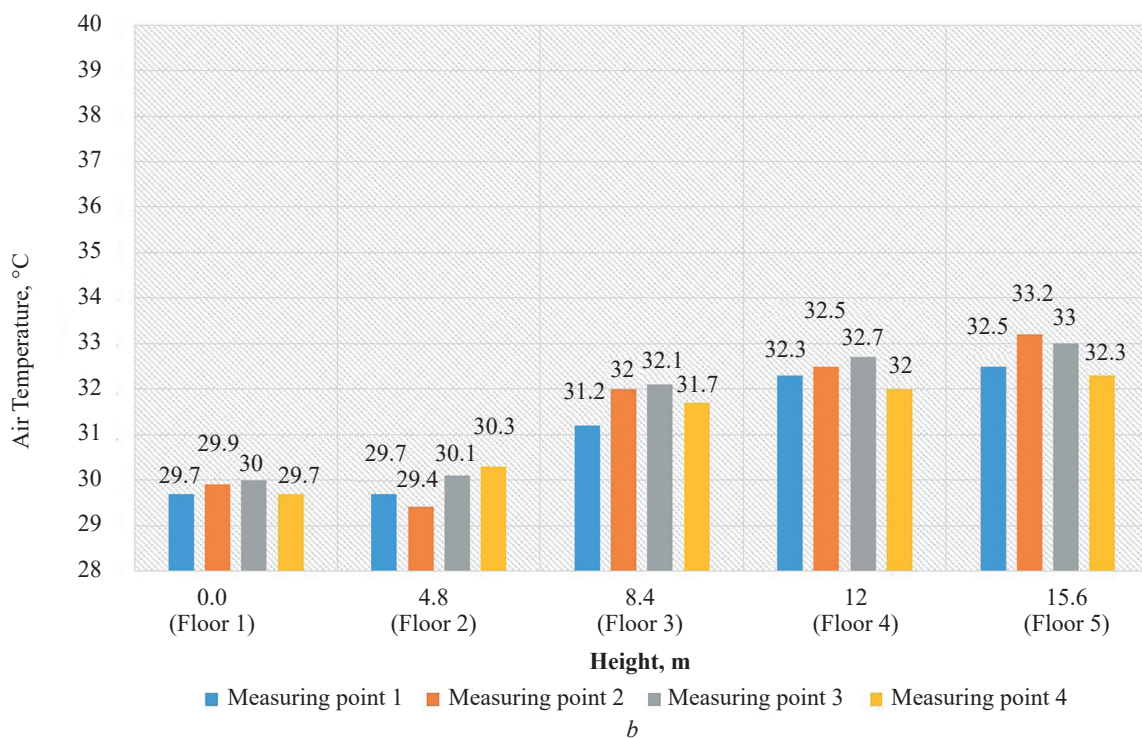
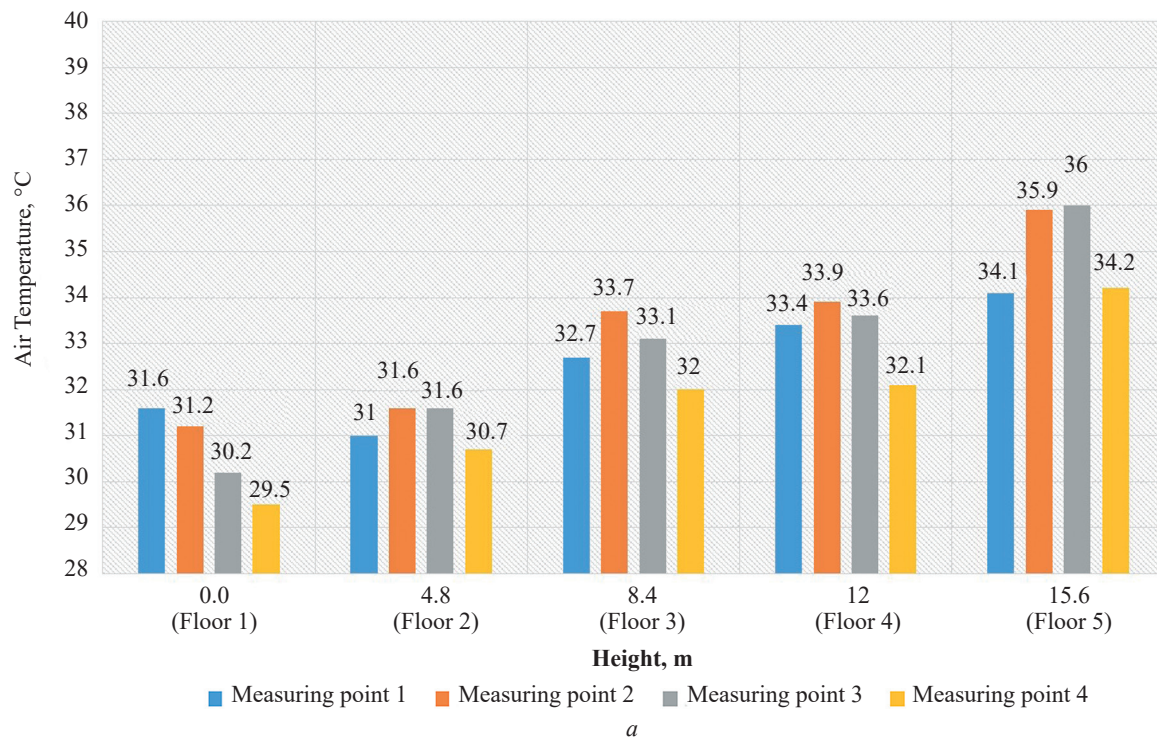


Fig. 5. The temperature distribution in the atrium building: a — Case 3; b — Case 4

perature mode that is slightly better than the one in Case 3. In Case 4, the highest temperature (35–37.8 °C) is shown in Table 1. These results reveal that the effect of different compositions of inlet and outlet openings on the indoor thermal condition and energy efficiency is improved by buoyancy-driven air flow changes in an atrium having multiple openings.

The indoor air temperature was relatively stable on every floor during the experiment. However, the air temperature kept rising on the way from the bottom to the top. This air gains heat from hot surfaces when passing through them and then enhances the buoyancy effect. These results prove that well-mixed conditions in the atrium buildings used in many studies are unsuitable when cross-section areas are small. The gradual increase in the temperature fields along the vertical direction inside atriums reflects the real state of affairs.

We used these results and full-scale measurement data to study the effect of different of outlet opening locations and sizes at the top of the atrium. They have little influence on the velocity and temperature fields inside the building. In addition, the higher the floor,

the higher the temperature. The results show that the lobby area below the translucent roof was extremely hot due to the coupling of the high mean radiant temperature and stratified hot air. According to the design guidelines, the indoor temperature shall vary between 25 and 27 °C in the atrium lobby and corridors [28]. According to Fig. 6, the size of the outlet openings is about 10 % of the total glazed atrium area. Although inlet openings are necessary, the opening area does not need to be very large because if the area of openings rises from 50 to 100 %, it cannot make any significant difference. Openings have little effect on temperature fields. Therefore, they can be used to maximize the air-flow rate, it should reduce overheating in the atrium lobby. In addition, it can reduce the indoor air temperature by 5 °C on a hot day during the summer period when the outlet opening ratio exceeds 10 % of the total glass roof area in the atrium building, and it helps to improve the buoyancy-driven ventilation performance to achieve the optimum atrium cooling and prevent detrimental reverse air motion (Fig. 6).

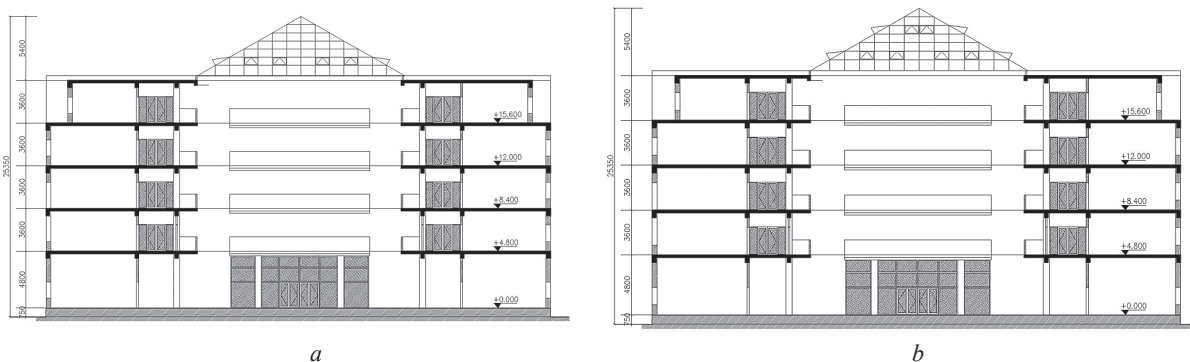


Fig. 6. Section A-A of the atrium building: *a* — current area of openings; *b* — recommended area of openings

To sum up, we believe that the thermal performance of an atrium can be improved by changing the size and position of the openings, provided that the upper atrium opening is large enough, and that the lower atrium opening is small enough with varying degrees of opening on hot days to boost flows in the adjacent areas and determine the optimum airflow rate in these spaces. The research based on the field experiments aimed at finding the efficient atrium design parameters and the thermal effect identified in the course of an experiment will help designers and engineers to decide upon the opening design in naturally ventilated buildings and provide a strong background for further research required to develop empirical guidelines for the future design of atria.

CONCLUSION AND DISCUSSION

This study reports the effects of different opening area ratios on improving the internal thermal conditions of an atrium and a lobby on hot and clear summer

days. Generally, the difference between the average air temperature on the first floor and the fifth floor varies from 1 to 5.5 °C. Meanwhile, if the outlets on the top of the atrium are completely open, the difference between the average air temperatures on these two floors varies from 1 to 2.5 °C. These results clearly show that the difference in the outlet locations and sizes on the top of the atrium has a strong effect on the temperature fields inside the buildings. Particularly, the air temperature stratification within the atrium reduces significantly with an increase in the locations and sizes of openings on the top of the atrium. The atrium demonstrates the highest thermal performance in Case 1, if the bottom and top doors are completely open, and occupants experience maximal comfort, especially at the points beside the atrium envelope. Given these results, the size of outlet openings (>10 %) is recommended to achieve the optimum atrium cooling performance, and large inlet openings should be added at different atrium levels. This atrium building had 5 % of the total top-glass roof

area open, which helps to improve the buoyancy-driven ventilation performance to achieve the optimum atrium cooling performance and prevent detrimental reverse air motion, but it is not enough for more or less comfortable conditions.

These results and conclusions will help architects and engineers to make informed decisions about the anticipated thermal environment and airflow conditions. Consequently, they might design optimal openings and their sizes, as well as the number of floors. In addition, these findings help them to save the evaluation time for new cases, predict the indoor comfort, help designers to evaluate the ventilation performance; choose the optimal design of building openings, and reduce the energy

consumption by mechanical ventilation systems. Furthermore, the effect of the atrium size, geometry, roof shape, material, insulated outdoor walls on their cooling efficiency also needs to be studied in further research projects to increase energy savings.

Even though considerable discrepancies were observed among the daily measured thermal parameters over the 15-day monitoring period, particularly due to unstable weather conditions, this study is expected to provide a clear picture of the indoor thermal environment in the atrium in the hot period. Since the measuring period was rather short, it is, therefore, recommended that monitoring periods should be longer for the research findings to be better substantiated.

REFERENCES / СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Galal K.S. The impact of atriums on thermal and daylighting performance. *Architecture and Planning Journal (APJ)*. 2018; 24(1):1-16. URL: <https://digitalcommons.bau.edu.lb/apj/vol24/iss1/4>
- Baharvand M., Ahmad M.H.B., Safikhani T., Mirmomtaz S.M. Thermal performance of tropical atrium. *Environmental and Climate Technologies*. 2013; 12(1):34-40. DOI: 10.2478/rtuct-2013-0014
- Moosavi L., Mahyuddin N., Ghafar N. Atrium cooling performance in a low energy office building in the Tropics, a field study. *Building and Environment*. 2015; 94:384-394. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.06.020
- Harriman L.G., Lstiburek J. The ASHRAE Guide for Buildings in Hot and Humid Climates, American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA. 2008
- Aldawoud A., Clark R. Comparative analysis of energy performance between courtyard and atrium in buildings. *Energy and Buildings*. 2008; 40(3):209-214. DOI: 10.1016/j.enbuild.2007.02.017
- Abdullah A.H., Meng Q., Zhao L., Wang F. Field study on indoor thermal environment in an atrium in tropical Climates. *Building and Environment*. 2009; 44(2):431-436. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.02.011
- Yang T.O.N.G., Clements-Croome D.J. Natural ventilation in a built environment. *Sustainable Built Environments*. 2013; 394-425. DOI: 10.1007/978-1-0716-0684-1_488
- Awbi H.B. Air movement in naturally-ventilated buildings. *Renewable Energy*. 1996; 8:241-247. DOI: 10.1016/0960-1481(96)88855-0
- Awbi H.B. *Ventilation of Buildings*. 2nd ed. UK, Routledge, 2002; 536.
- Chen Z.D., Li Y. Buoyancy-driven displacement natural ventilation in a single-zone building with three-level openings. *Building and Environment*. 2002; 37(3):295-303. DOI: 10.1016/S0360-1323(01)00021-X
- Favaro P.A., Manz H. Temperature-driven single-sided ventilation through a large rectangular opening. *Building and Environment*. 2005; 40(5):689-699. DOI: 10.1016/j.buildenv.2004.08.003
- Gao J., Zhao J.N., Cao F.S., Zhang X. Modeling of indoor thermally stratified flows on the basis of Eddy viscosity/diffusivity model: state of the art review. *Journal of Building Physics*. 2009; 32(3):221-241. DOI: 10.1177/1744259108098337
- Ji Y., Cook M.J., Hanby V. CFD modelling of natural displacement ventilation in an enclosure connected to an atrium. *Building and Environment*. 2007; 42(3):1158-1172. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.11.002
- Moosavi L., Ghafar N., Mahyuddin N. Investigation of thermal performance for atria: A method overview. *MATEC Web of Conferences*. 2016; 66:00029. DOI: 10.1051/mateconf/20166600029
- Ji Y., Cook M.J. Numerical studies of displacement natural ventilation in multi-storey buildings connected to an atrium. *Building Services Engineering Research and Technology*. 2007; 28(3):207-222. DOI: 10.1177/0143624407077190
- Acred A., Hunt G.R. Stack ventilation in multi-storey atrium buildings: A dimensionless design approach. *Building and Environment*. 2014; 72:44-52. DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.10.007
- Assadi M.K., Dalir F., Hamid A.A. Analytical model of atrium for heating and ventilating an institutional building naturally. *Energy and Buildings*. 2011; 43(10):2595-2601. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.05.009
- Aldawoud A. The Influence of Atrium Geometry on the Building Energy Performance. *Energy and Buildings*. 2013; 57:1-5. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.10.038
- Wang F., Abdullah A.H. Investigating thermal conditions in a tropic atrium employing CFD and DTM techniques. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2011; 6(3):171-186. DOI: 10.1093/ijlct/ctr005
- Lin Y.J.P., Linden P.F. Buoyancy-driven ventilation between two chambers. *Journal of Fluid Mechanics*. 2002; 463:293-312. DOI: 10.1017/S0022112002008832
- Holford J.M., Hunt G.R. Fundamental atrium design for natural ventilation. *Building and Environ-*

ment. 2003; 38(3):409-426. DOI: 10.1016/S0360-1323(02)00019-7

22. Wang X., Huang C., Cao W. Mathematical modeling and experimental study on vertical temperature distribution of hybrid ventilation in an atrium building. *Energy and Buildings*. 2009; 41(9):907-914. DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.03.002

23. Wang F. Design and low energy ventilation solutions for atria in the tropics. *Sustainable Cities and Society*. 2012; 2(1):8-28. DOI: 10.1016/j.scs.2011.09.002

24. Holford J.M., Hunt G.R. Fundamental atrium design for natural ventilation. *Building and Environment*. 2003; 38(3):409-426. DOI: 10.1016/S0360-1323(02)00019-7

25. Moosavi L., Mahyuddin N., Ab Ghafar N., Ismail M.A. Thermal performance of atria: An overview

of natural ventilation effective designs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014; 34:654-670. DOI: 10.1016/j.rser.2014.02.035

26. Moosavi L., Mahyuddin N., Ghafar N. Atrium cooling performance in a low energy office building in the Tropics, a field study. *Building and Environment*. 2015; 94:384-394. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.06.020

27. Abdullah A.H., Wang F. Modelling thermal stratification in atrium using TAS program and verification of prediction results. *International Journal of Integrated Engineering*. 2009; 1(2):1-16.

28. Laouadi A., Atif M.R., Galasiu A. Towards developing skylight design tools for thermal and energy performance of atriums in cold climates. *Building and Environment*. 2002; 37(12):1289-1316. DOI: 10.1016/S0360-1323(02)00008-2

Received January 10, 2022.

Adopted in revised form on February 28, 2022.

Approved for publication on February 28, 2022.

BIONOTES: **Pham Thi Hong Tham** — Lecturer at Laboratory of Building Physics, Faculty of Civil Engineering; **Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Vietnam National University Ho Chi Minh City (VNU-HCM)**; 268 Ly Thuong Kiet st., District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam; postgraduate student 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; SPIN-code: 9515-2143, Scopus: 57222268423, ResearcherID: rid21029, ORCID: 0000-0002-7418-2084; ptham0825@gmail.com;

Aleksey K. Solovyev — Doctor of Technical Sciences, Professor, 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; SPIN-code: 3821-9431; kafedraarhitektury@yandex.ru;

Sergey S. Korneev — Senior lecturer of Department 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; SPIN-code: 5327-1094; KorneevSS@mgsu.ru.

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.

Поступила в редакцию 10 января 2022 г.

Принята в доработанном виде 28 февраля 2022 г.

Одобрена для публикации 28 февраля 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Фам Тхи Хонг Тхам** — преподаватель лаборатории строительной физики; **Технологический университет Хошимина, Вьетнамский национальный университет Хошимина**; Вьетнам, г. Хошимин, район 10, 14-й квартал, ул. Ли Тхыонг Кьет, д. 268; аспирант кафедры проектирования зданий и сооружений; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 9515-2143, Scopus: 57222268423, ResearcherID: rid21029, ORCID: 0000-0002-7418-2084; ptham0825@gmail.com;

Алексей Кириллович Соловьев — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования зданий и сооружений; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 3821-9431; kafedraarhitektury@yandex.ru;

Сергей Сергеевич Корнеев — старший преподаватель кафедры проектирования зданий и сооружений; заведующий лабораторией строительной физики; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 5327-1094; KorneevSS@mgsu.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 711.553

DOI 10.22227/1997-0935.2022.2.159-167

Оценка территориального развития у станций городской железной дороги

Денис Николаевич Власов^{1,2}, Екатерина Григорьевна Гогина^{1,2},
Наталья Викторовна Широкая²

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

² *Институт Генплана Москвы; г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Приведены итоги оценки территории, прилегающей к станции городской железной дороги. На основе результатов проведенного анализа сделаны выводы о пределах территориального развития в зоне влияния станции скоростного внеуличного транспорта. Предложено применение комплексного подхода, учитывающее принципы устойчивого развития. Это обеспечит эффективное использование городских территорий и пространств, отвечающих требованиям по созданию комфортной среды. Рациональное применение городской среды в зонах влияния станций скоростного внеуличного транспорта предусматривает в том числе развитие пешеходной и транспортной инфраструктур.

Материалы и методы. Территория в зоне влияния станций скоростного внеуличного транспорта представлена в виде целостной градостроительной системы. Предмет исследования предлагается рассмотреть в контексте наличия закономерностей системы расселения, размещения мест приложения труда относительно остановочных пунктов скоростного внеуличного транспорта.

Результаты. Для решения задачи по установлению закономерностей системы расселения в зоне влияния станции городской железной дороги применены методы имитационного моделирования и математической статистики. Среди них расчет критерия согласия Пирсона, анализ таблиц сопряженности. Развитие данной темы возможно с помощью метода логистической регрессии. Эти методы позволят в зонах влияния станций скоростного внеуличного транспорта учесть планировочную структуру территории, количество мест приложения труда, численность населения, время достижения станций городской железной дороги пешком и на общественном транспорте.

Выводы. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем при формировании научно обоснованных требований по развитию территории в зоне влияния станций скоростного внеуличного транспорта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: устойчивое развитие территорий, транспортное обслуживание населения, городская железная дорога, пассажиропоток, закономерности системы расселения

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Власов Д.Н., Гогина Е.Г., Широкая Н.В. Оценка территориального развития у станций городской железной дороги // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 2. С. 159–167. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.159-167

Автор, ответственный за переписку: Екатерина Григорьевна Гогина, eggogina@mail.ru.

Assessment of the spatial development of areas adjacent to urban railway stations

Denis N. Vlasov^{1,2}, Ekaterina G. Gogina^{1,2}, Natalia V. Shirokaya²

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

² *Institute of the General Plan of Moscow; Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The article presents the assessment of an area adjacent to an urban railway station. Given the results of the analysis, conclusions are drawn about the spatial development limits in the area of influence of a rapid transport station. The authors propose an integrated approach that takes account of the principles of sustainable development. It will ensure the effective use of urban areas and spaces that meet the requirements applicable to comfortable environments. The rational use of urban environments in the areas of influence of rapid transport stations entails, among other things, the development of pedestrian and transport infrastructure.

Materials and methods. The area of influence of rapid transport stations is presented as an integral urban planning system. The subject of the study is proposed to be considered in the context of patterns of settlement systems and locations of areas of employment relative to rapid transport stops.

Results. The authors propose simulation modeling and mathematical statistics to identify the regularities of a settlement system in the area of influence of an urban railway station. They encompass the calculation of the Pearson consensus criterion and the analysis of contingency tables. The development of this research area is feasible using the logistic regression method. These methods will take account of the spatial planning structure, the number of jobs, the population,

the walking time to the stations of the urban railway and the use of other means of public transport in the areas of influence of rapid transport stations.

Conclusions. The research results can be contributed to the development of research-based requirements applied to the areas of influence of rapid transport stations.

KEYWORDS: sustainable development of areas, public transport services, urban railway, passenger traffic, settlement system patterns

FOR CITATION: Vlasov D.N., Gogina E.G., Shirokaya N.V. Assessment of the spatial development of areas adjacent to urban railway stations. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(2):159-167. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.159-167 (rus.).

Corresponding author: Ekaterina G. Gogina, eggogina@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Московская агломерация, как одна из крупных территориальных группировок городских и сельских поселений, объединенных различными транспортными связями, влияет на территориальное развитие крупнейшего города [1].

В градостроительной практике используется комплексный подход к развитию территорий города. Территориальное развитие города выполняется при увеличении жилищного фонда, спроса на места приложения труда, маятниковой миграции и др. и включает мероприятия по созданию новых транспортных систем, реорганизации промышленных и производственных территорий, благоустройству и т.д. Для комплексного подхода к территориальному развитию города учитываются принципы устойчивого развития.

Понятие устойчивое развитие в настоящее время является достаточно популярным и часто используемым в научной деятельности. Цель устойчивого развития — создание качественной среды обитания, удовлетворяющей все запросы общества. Концепция устойчивого развития предполагает развитие города во взаимосвязке трех базовых сфер: экономической, экологической и социальной [2–4]. Важный аспект устойчивого развития современных городских территорий — транспортная инфраструктура.

В данной исследовательской работе рассматриваются пределы развития территорий локальных зон расселения у станций скоростного внеуличного транспорта — городской железной дороги. Формирование пределов территориального развития у станций городской железной дороги приведет к рациональному использованию территории.

Применены научные методы имитационного моделирования и математической статистики для формирования системы территориального использования зоны влияния скоростного внеуличного транспорта города, как неотъемлемой части интермодальной системы транспортного обслуживания населения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве материалов для проведения исследования использованы данные Московского центрального кольца (далее — МЦК). МЦК (ранее дорога называлась Московская кольцевая железная дорога) — кольцевая железнодорожная магистраль, построенная в начале XX в. Пассажирское движение по МЦК запустили в 2016 г., длина железной дороги составила 54 км [5]. Запуск движения по кольцу дал новый импульс развитию заброшенных промышленных территорий столицы [6, 7], а также решил множество задач, связанных с перегрузкой транспортного каркаса города. Движение по МЦК повлекло за собой активное развитие территорий в прилегающих 26 районах города.

С начала эксплуатации до середины 2021 г. МЦК воспользовалось более 650 млн пассажиров [8, 9]. Годовое использование железной дороги представлено в табл. 1.

В рамках исследования планируется:

- изучение локальных систем расселения, сложившихся у станций МЦК, на основании данных Института Генерального плана Москвы;
- проведение опроса пассажиров с целью выявления моделей их транспортного поведения, статистическая обработка результатов;

Табл. 1. Пассажирооборот Московского центрального кольца

Table 1. Passenger traffic at the Moscow Central Ring

Пассажирооборот Passenger traffic	Год эксплуатации Year of operation					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Суточный, тыс. пасс. 24-hour traffic, in thousand passengers	300	400	444,5	543	—	—
Всего с даты пуска нарастающим итогом, млн пасс. The running total passenger traffic as of the launch day, million passengers	13	100	200	300	500	666,5

- разработка теоретической модели расселения и ее апробация для установления возможных пределов территориального развития в зонах влияния станций МЦК;
- разработка рекомендаций по градостроительному развитию территорий в зонах влияния станций.

Таким образом, объектом проектного эксперимента является система расселения, формирующаяся в зоне влияния остановок МЦК.

Обработка исходной информации, анализ источников и проведенные предварительные расчеты позволили предположить наличие закономерности в расселении и размещении мест приложения труда относительно остановочных пунктов городской железной дороги. Один из возможных аналогов, подтверждающих наличие закономерностей в формировании системы расселения в зонах влияния остановочных пунктов, — закон трудового тяготения, сформулированный в 60-е годы прошлого века [10]. Закон трудового тяготения говорит о том, что фокусы трудового тяготения (т.е. территории города, на которых сконцентрированы производства, административно-деловые, торговые и другие предприятия) управляют расселением населения, стремящегося уменьшить время поездок с трудовыми целями. Современный быстро меняющийся мир, новые формы мобильности и занятости, развитие рынка арендного жилья позволяют предположить, что на сегодняшний день именно станции внеуличного транспорта (и, в частности, станции городской железной дороги) стали центрами, вокруг которых формируются локальные системы расселения.

Среди основных задач настоящего исследования указано создание имитационной модели системы расселения в зоне влияния станций городской железной дороги с определением предельных параметров развития территории, включая: численность жителей рассматриваемой территории, количество мест приложения труда и т.д.

Под планировочной структурой городских территорий, расположенных в зоне влияния остановочных пунктов городской железной дороги, мы будем понимать единство пространственно и функционально взаимосвязанных планировочных районов города, объединенных транспортным каркасом, обеспечивающим доступность остановок железной дороги. С точки зрения системного анализа [11] данные функционально-планировочные образования являются сложными системами и обладают соответствующими признаками: целостность и членимость, связи, организация, интегративные качества. Для изучения этого типа систем в научных трудах используется имитационное моделирование¹ [12, 13].

¹ Транспортное планирование и моделирование : сб. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. СПб. : СПбГАСУ, 2017. 341 с.

С целью рассмотрения планировочной системы в зоне влияния остановочного пункта городской железной дороги используем стохастическую модель, для описания которой применим модель системной динамики. Основа концепции этого типа моделей — представление о функционировании системы, как совокупности потоков различного вида. Математическая модель — система дифференциальных уравнений (формула (1)).

$$x' = f(x, u, t), \quad (1)$$

где $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ — вектор состояний; x_1, \dots, x_m — переменные состояния; $u = (u_1, \dots, u_p)^T$ — вектор входов; t — символ времени.

Теоретическая модель исследования подразумевает наличие зависимости между количеством расселяющихся и временем, необходимым для достижения станции городской железной дороги пешком или с помощью общественного транспорта. Графическое отображение модели приведено на рис. 1.

В рамках исследования были проведены пробные расчеты с оценкой развития территории в зоне влияния станции «Окружная» МЦК (рис. 2). Транспортно-пересадочный узел «Окружная» находится в Северном административном округе г. Москвы на границе районов Бескудниково и Тимирязевский. Узел обеспечивает пересадку на метрополитен, железнодорожный транспорт и наземный пассажирский транспорт.

Для выявления границ оценки территории построены изохроны транспортной и пешеходной доступности относительно времени достижения станции. Изохрона — полигональный объект, очерчивающий район, в который может добраться пассажир, двигаясь из определенной точки в течение заданного отрезка времени. Изохроны строятся по времени прибытия к узлу маршрутами наземного пассажирского транспорта и пешком [14, 15]. Исходными данными для построения зон влияния являлись данные: граф улично-дорожной сети и треки движения наземного пассажирского транспорта. Для пешеходного движения изохроны строились

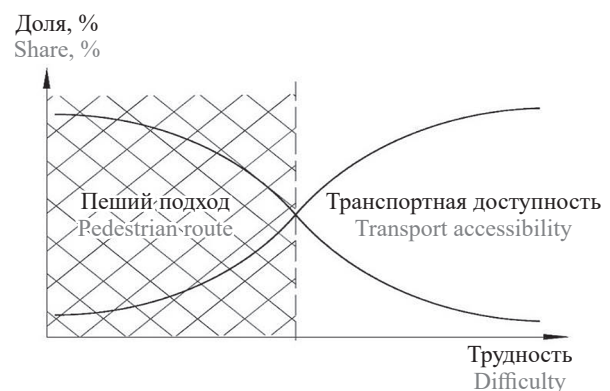


Рис. 1. Кривые расселения относительно станций городской железной дороги

Fig. 1. Settlement curves relative to urban railway stations



Рис. 2. Станция МЦК «Окружная»

Fig. 2. Okruzhnaya Station, Moscow Central Ring

по временным интервалам: 5, 10, 15, 20, 25, 30 мин. Для подъезда на транспорте — 10, 20, 30 мин. Полученные изохроны представлены на рис. 3 и 4.

Интервалы значений и предел расселения относительно узла выбирались исходя из результатов опроса пассажиров станции. Кроме того, материалы опроса позволили установить количество пассажиров, прибывающих на станцию пешком и на транспорте. По отчетной информации Института Генплана Москвы определено население в изохронах. Сводные результаты представлены в табл. 2. Полученные в результате кривые расселения приведены на рис. 5.

Из графика видно, что в границах 5, 10, 15-минутной пешей доступности до станции МЦК более половины пассажиров (57 %) добираются до станции пешком. В границах 20, 25, 30-минутной пешей доступности до станций МЦК доля пешего подхода существенно снижается и составляет 16 %.

Так, в точке пересечения графиков кривых «Пешком» и «Транспорт» в зоне 15–20-минутной пешей доступности до станции МЦК мы можем зафиксировать резкое изменение выбора пассажирами способа подхода/подъезда. Для того чтобы математически обосновать зафиксированные на графике закономерности, применены статистические методы.

С целью установления и математического обоснования статистической значимости взаимосвязи между выбором пассажирами способа добраться до станции МЦК (пешком или на транспорте) и трудностью подхода был использован критерий согласия Пирсона.

Критерий согласия Пирсона (критерий согласия χ^2) — это непараметрический метод, который позволяет оценить значимость различий между фактическим количеством исходов, попадающих в каждую категорию, и теоретическим количеством, которое можно ожидать в изучаемых группах при справед-

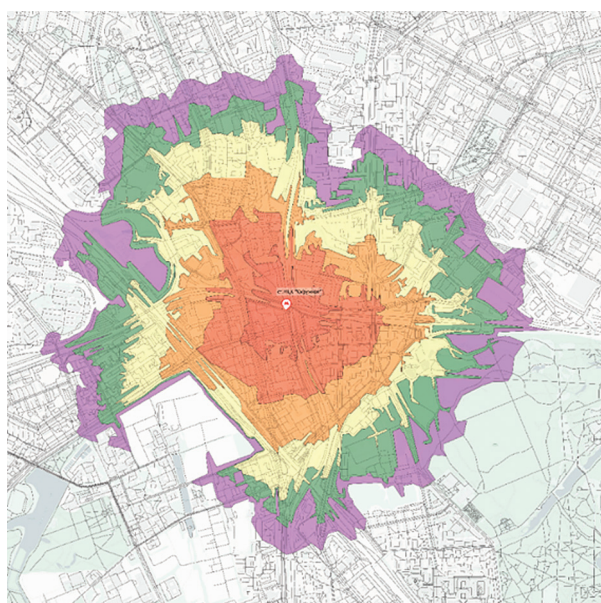


Рис. 3. Изохроны пешеходной доступности
Fig. 3. Pedestrian accessibility isochrons

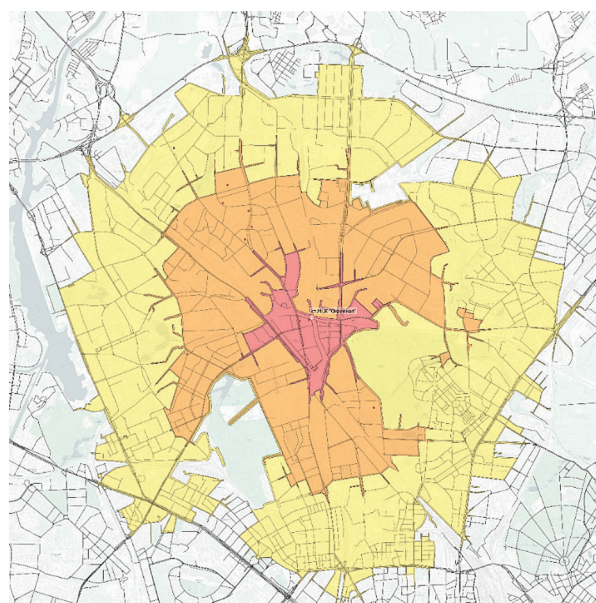


Рис. 4. Изохроны транспортной доступности
Fig. 4. Transport accessibility isochrons

Табл. 2. Данные натурных обследований станции «Окружная» МЦК

Table 2. Findings of field surveys of the Okruzhnaya station, Moscow Central ring

Пассажиропоток Passenger traffic		Временной интервал зоны пешеходной доступности Time interval in the area of pedestrian access					
		5	10	15	20	25	30
Способ добраться до станции Ways to get to the station	Пешком On foot	2176	9469	12 790	5570	3355	5678
	На транспорте By transport vehicles	1624	7065	9541	28 779	17 334	29 339
Суммарный пассажиропоток Total passenger traffic		3800	16 534	22 331	34 349	20 689	35 017
Доля пассажиров, пришедших пешком, % The share of passengers who have got to the station on foot, %		57	57	57	16	16	16
Доля пассажиров, приехавших на транспорте, % The share of passengers who have used transport vehicles to get to the station, %		43	43	43	84	84	84

ливости нулевой гипотезы. Нулевая гипотеза исследования состоит в том, что значимой взаимосвязи между исследуемыми переменными нет² [16].

Для проверки гипотезы используется анализ таблиц сопряженности. Таблица сопряженности (таблица контингентности) — средство представления совместного распределения двух переменных, предназначенное для исследования связи между ними.

На рис. 5 строки таблицы сопряженности соответствуют значениям качественной переменной («Способ добраться»: пешком/транспорт), столбцы — значениям переменной («Трудность»), при этом шкала переменной «Трудность» выражена в минутах пешего подхода и сгруппирована в интервалы: 5, 10, 15, 20, 25, 30 мин.

²Р 50.1.033-2001. Рекомендации по стандартизации. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть I. Критерии типа Хи-квадрат. М.: Госстандарт России, 2006. 87 с.

В основе статистик, используемых в критериях согласия, лежит измерение отклонений фактических от ожидаемых частот. Статистика критерия согласия Пирсона χ^2 определяется соотношением:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}, \quad (2)$$

где i — номер строки таблицы сопряженности (от 1 до r); j — номер столбца таблицы сопряженности (от 1 до c); O_{ij} — фактическая частота наблюдений в ячейке ij ; E_{ij} — ожидаемая частота наблюдений в ячейке ij .

Теоретическая ожидаемая частота для каждой из ячеек таблицы сопряженности определяется путем перемножения сумм рядов и столбцов с последующим делением полученного произведения на общее число наблюдений:

$$E_{ij} = \frac{n_i n_j}{N}, \quad (3)$$

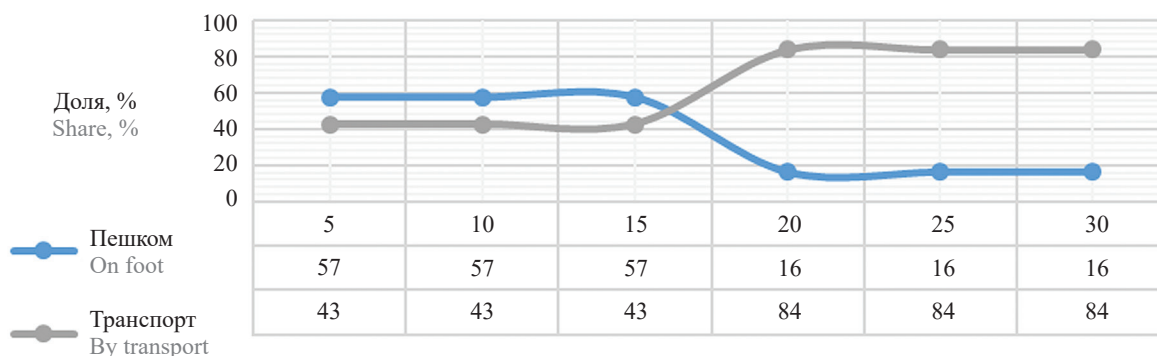


Рис. 5. Кривые расселения в зоне влияния станции «Окружная» МЦК

Fig. 5. Settlement curves in the area of influence of the Okruzhnaya station, Moscow Central Ring

где n_i — сумма наблюдаемых частот по строке i ; n_j — сумма наблюдаемых частот по столбцу j ; N — общая частота наблюдений.

Расчетное значение величины критерия согласия χ^2 необходимо сравнить с критическим значением критерия χ^2 . В том случае, если полученное значение критерия χ^2 больше критического, делается вывод о наличии статистической взаимосвязи при соответствующем уровне значимости.

Для определения критического значения критерия χ^2 используются специальные таблицы. Чтобы воспользоваться ими, следует вычислить значение степени свободы. Значение показателя степени свободы зависит от количества категорий исследуемых переменных, которые выражены в количестве строк и столбцов в таблице сопряженности, и определяется по формуле:

$$df = (r - 1)(c - 1), \quad (4)$$

где r — количество строк; c — количество столбцов в таблице сопряженности.

Распределение Хи-квадрат является распределением суммы квадратов независимых стандартных случайных величин. Количество этих независимых

стандартных случайных величин выражается через показатель степени свободы df , от которого зависит график плотности вероятности (рис. 6).

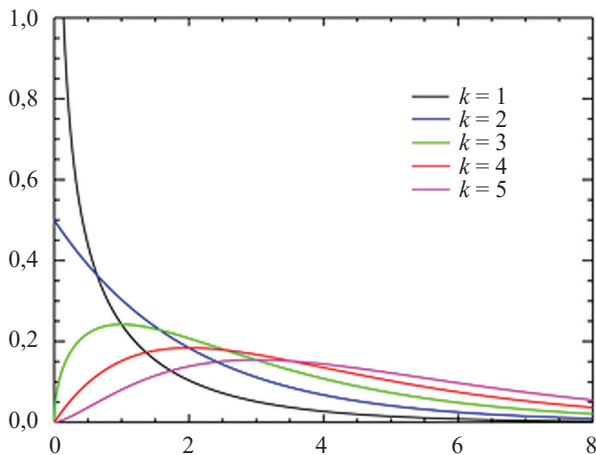


Рис. 6. Распределение Хи-квадрат. Плотность вероятности с k -степенями свободы

Fig. 6. Chi-square distribution. Probability density with k degrees of freedom

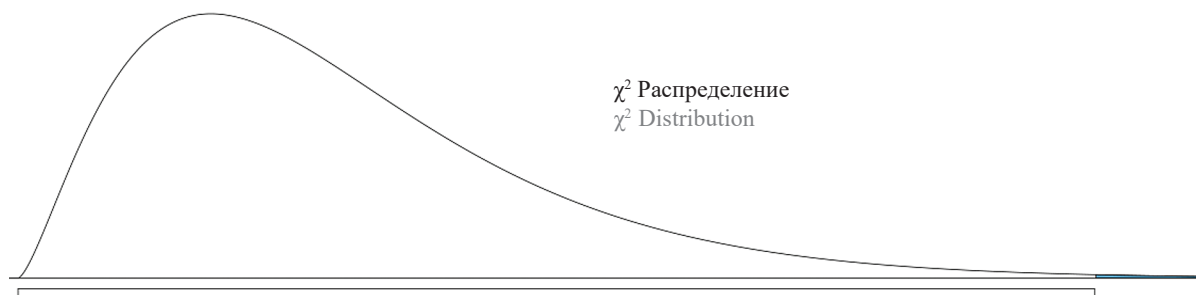


Рис. 7. График вероятности нулевой гипотезы ($\chi^2 = 108,79$; $df = 5$; $p < 0,001$)

Fig. 7. Probability graph of the null hypothesis ($\chi^2 = 108,79$; $df = 5$; $p < 0.001$)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведены расчеты для территории в зоне влияния станции «Окружная». Оценена разница фактических и ожидаемых долей пешего подхода и подъезда на транспорте к станции в утренний час пик в зависимости от трудности подхода.

Расчетное значение χ^2 составило 108,79. Критическое значение χ^2 при $df = 5$ и заданном уровне значимости 0,95 составляет 1,14. Таким образом, мы получили расчетное значение критерия согласия, которое существенно больше критического. Отсюда можно сделать вывод о наличии взаимосвязи между выбором способа добраться до станции МЦК и трудностью подхода, а также о значимых различиях в распределении долей пешего подхода и подъезда на транспорте к станциям МЦК в зависимости от степени трудности пешеходного подхода.

Значение p -уровня значимости составило $7,4 \cdot 10^{-22}$. Значение p менее 0,001 свидетельствует о высокой статистической значимости полученных результатов.

χ^2 Распределение
 χ^2 Distribution

График кривой распределения χ^2 , иллюстрирующий вероятностью осуществления нулевой гипотезы, представлен на рис. 7.

Закрашенная площадь под кривой в правой части графика выражает вероятность нулевой гипотезы. Из графика видно, что вероятность того, что связи между двумя исследуемыми переменными не существует, а результаты анализа получены случайно, крайне мала.

В дальнейшем исследовании при наличии достаточного количества исходных данных возможно использование описанных методов с целью введения и обоснования новой классификации станции скоростного внеуличного транспорта по типу пешего подхода в зоне влияния станции, а также другим выделенным факторам [17].

Кроме того, одним из возможных направлений этого исследования является создание вероятностных моделей развития территории в зоне влияния станций МЦК на основе выявленных закономерностей. Такие модели позволили бы сформировать сценарии развития территории в зависимости

от степени влияния и сочетания различных градостроительных факторов.

Для решения этой задачи используется инструментарий моделей бинарного выбора, наиболее распространенный среди которых — логистическая регрессия или пробит-регрессия. Альтернативным инструментом статистического исследования в этом случае служит линейный дискриминантный анализ [18, 19].

Учитывая специфику исходных сведений, в качестве наиболее подходящего метода представляется аппарат бинарной логистической регрессии, поскольку этот метод позволяет работать с данными, вид распределения которых не соответствует нормальному.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлены и обоснованы наличие статистически значимой взаимосвязи между выбором способа добраться до станции МЦК и трудностью подхода, а также значимых различий в распределении долей пешего подхода и подъезда на транспорте к станциям МЦК в зависимости от степени трудности и пешеходного подхода на примере станции «Окружная» МЦК.

Очевидно, что локальные расчеты для одного из узлов не могут служить основанием для формирования выводов и утверждения о наличии закономерностей. Необходимо проведение комплексного исследования, результатом которого будет являться методика оценки территориального развития в зоне влияния станций городской железной дороги. К основным этапам исследования относятся:

- сбор и обработка исходной информации о территориальном развитии в зоне станций МЦК;
- проведение опроса пассажиров МЦК с целью выявления моделей транспортного поведения, целей поездок, их регулярности, маршрутах и т.п.;

- разработка идеальной модели локальной системы расселения в зоне станций городской железной дороги;

- проведение расчетов, верификация и нормализация информации;

- разработка методики оценки территориального развития в зоне влияния станций городской железной дороги.

В настоящее время в Москве реализован успешный проект по запуску пассажирского движения по трассе Малого кольца Московской железной дороги. При запуске движения по московским центральным диаметрам происходит трансформация железной дороги из региональной системы пассажирского транспорта в городскую агломерационную систему. Реализация подобных мероприятий даст дополнительный импульс в развитии территорий города и обеспечения устойчивых транспортных связей агломерации. Качественное повышение уровня инфраструктуры территории учитывает показатели связности, доступности и проницаемости территории. Связность и доступность территории формируется естественным путем из условия быстрого достижения станций скоростного внеуличного транспорта из конкретных точек. Разработка методики определения пределов развития в зонах влияния станций на основе научных методов математической статистики даст возможность решить комплекс проблем и обеспечит устойчивое развитие территорий и, в частности: реновацию депрессивных промышленных и производственных зон, формирование основных мероприятий по развитию транспортной, социальной, инженерной инфраструктур, благоустройства территорий. Решение данных проблем является необходимым для улучшения территорий в зонах действия станций скоростного внеуличного транспорта.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Данилина Н.В. Организация транспортного обслуживания населения агломераций: существующий опыт и тенденции развития // Научное обозрение. 2016. № 10. С. 304–308.

2. Щербина Е.В., Данилина Н.В. Градостроительные аспекты проектирования устойчивой городской среды // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 11 (94). С. 183–186.

3. Щербина Е.В., Власов Д.Н., Данилина Н.В. Устойчивое развитие поселений и урбанизированных территорий: учебное пособие. М. : МГСУ, 2016. 128 с.

4. Шеина С.Г., Зильберова И.Ю., Касьянов В.Ф., Федоровская А.А., Матвейко Р.Б., Виноградова Е.В. и др. Устойчивое развитие территорий, городов

и предприятий: монография. Ростов н/Д : ДГТУ, 2017. 186 с.

5. Сидорова В.Н., Сидоров Н.В. Инновационное развитие транспортной системы Москвы // Потенциал роста современной экономики: возможности, риски, стратегии. 2018. С. 429–435.

6. Власов Д.Н., Бахирев И.А. Московское центральное кольцо как катализатор изменения мобильности жителей // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 1. С. 53–58. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-1-53-58

7. Бахирев И.А., Власов Д.Н., Немов П.П., Козлов П.И. Анализ работы существующего пригородного железнодорожного транспорта с целью развития и интеграции в городскую транспортную систему // Транспортное планирование и модели-

рование : сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. 2019. С. 20–25.

8. *Игнатов Д.Д., Зайцев Д.В.* Оценка социально-экономической эффективности реализации инвестиционного проекта в транспортной инфраструктуре на примере МЦК // Вопросы отраслевой экономики: современное состояние актуальных проблем, тенденции развития. Экономика комплексного развития территорий и агломераций : сб. науч. тр. науч.-метод. и науч.-исслед. конф. бакалавров и магистрантов кафедры «Экономика дорожного хозяйства». 2019. С. 58–62.

9. *Морозова А.С.* Открытие МЦК как качественное преимущество в развитии транспортной инфраструктуры // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки : мат. Всерос. науч. конф. с междунар. участием. 2016. С. 512–516.

10. *Овечников Е.В., Фишельсон М.С.* Городской транспорт : учебник для студентов вузов. М. : Высшая школа, 1976. 351 с.

11. *Лычкина Н.Н.* Имитационное моделирование экономических процессов : учебное пособие. М. : Инфра-М., 2012. 253 с.

12. *Вьюненко Л.Ф., Михайлов М.В., Первозванская Т.Н.* Имитационное моделирование: учебное пособие. М. : Из-во Юрайт, 2016. 284 с.

13. *Власов Д.Н.* Имитационное моделирование — инструмент оценки качества планировочных

решений транспортно-пересадочных узлов // Транспортное строительство. 2013. № 9. С. 22–24.

14. *Снетков Н.Н.* Имитационное моделирование экономических процессов: учебно-практическое пособие. М. : Издат. центр ЕАОИ, 2008. 228 с.

15. *Сомов Э.В.* Геоинформационное моделирование при оценке качества транспортного обслуживания городского населения (на примере Юго-Запада Москвы) // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2013. № 1. С. 42–46.

16. *Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б., Постовалов С.Н., Чимитова Е.В.* Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход: монография. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. 888 с.

17. *Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.* Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. Финансы и статистика. М. : Финансы и статистика, 1989. 607 с.

18. *Hastie T., Tibshirani R., Friedman J.* The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction, Second Edition. Springer, 2009. 533 p.

19. *David W. Hosmer, Stanley Lemeshow.* Applied Logistic Regression, 2nd ed. New York, Chichester, Wiley, 2002. 392 p.

Поступила в редакцию 11 января 2022 г.

Принята в доработанном виде 15 февраля 2022 г.

Одобрена для публикации 15 февраля 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Денис Николаевич Власов** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; заместитель директора; **Институт Генплана Москвы;** 129337, г. Москва, ул. 2-я Брестская, д. 2/14; РИНЦ ID: 289259, Scopus: 57193410512, ResearcherID: A-6226-2017, ORCID: 0000-0001-8765-4485; VlasovDN@mgsu.ru;

Екатерина Григорьевна Гогина — аспирант кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; инженер 1-й категории; **Институт Генплана Москвы;** 129337, г. Москва, ул. 2-я Брестская, д. 2/14; РИНЦ ID: 992262; eggogina@mail.ru;

Наталья Викторовна Широкая — главный специалист; **Институт Генплана Москвы;** 129337, г. Москва, ул. 2-я Брестская, д. 2/14; РИНЦ ID: 878404; shirokonidze@yandex.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Danilina N.V. Organization of transport service for the population of urban agglomerations: existing experience and development trends. *Scientific Review*. 2016; 10:304-308. (rus.).

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

3. Shcherbina E.V., Vlasov D.N., Danilina N.V. *Sustainable Development of Settlements and Urbanized Territories: A Study Guide*. Moscow, MGSU, 2016; 128. (rus.).

4. Sheina S.G., Zilberova I.Yu., Kasyanov V.F., Fedorovskaya A.A., Matveiko R.B., Vinogradova E.V. et al. *Sustainable development of territories, cities and enterprises: monogaffia*. Rostov-on-Don, DSTU, 2017; 186. (rus.).

5. Sidorova V.N., Sidorov N.V. Innovative development of Moscow transport system. *Growth potential of the modern economy: opportunities, risks, strategies*. 2018; 429-435. (rus.).
6. Vlasov D.N., Bahirev I.A. The Moscow central circle as a catalyst for change of residential mobility. *Academia. Architecture and construction*. 2018; (1):53-58. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-1-53-58 (rus.).
7. Baxirev I.A., Vlasov D.N., Nemov P.P., Kozlov P.I. The existing suburban railway transport analysis for development and integration to city transport system. *Transport Planning and Modeling: Collection of Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference*. 2019; 20-25. (rus.).
8. Ignatov D.D., Zajcev D.V. Assessment of socioeconomic efficiency the implementation of the investment project in the transport infrastructure on the example of the MCC. *Issues of sectoral economics: the current state of urgent problems, development trends. Economics of the integrated development of territories and agglomerations: a collection of scientific papers of the scientific-methodical and research conference of bachelors and masters of the department "Economics of the road economy"*. 2019; 58-62. (rus.).
9. Morozova A.S. The opening of the MCC as a qualitative advantage in the development of transport infrastructure. *Current state, problems and prospects for the development of industry science: materials of the All-Russian Scientific Conference with International Participation*. 2016; 512-516. (rus.).
10. Ovechnikov E.V., Fishelson M.S. *City transport: a textbook for university students*. Moscow, Higher school, 1976; 351. (rus.).
11. Lychkina N.N. *Simulation modeling of economic processes: a tutorial*. Moscow, Infra-M, 2012; 253. (rus.).
12. Vyuneneko L.F., Mikhailov M.V., Pervozvanskaya T.N. *Simulation modeling: a tutorial*. Moscow, Yurait Publishing House, 2016; 284. (rus.).
13. Vlasov D.N. Simulation modeling as a tool to evaluate the quality of planning solutions of the transfer hubs. *Transport Construction*. 2013; 9:22-24. (rus.).
14. Snetkov N.N. *Simulation modeling of economic processes: educational and practical guide*. Moscow, Publishing house. Center EAOI, 2008; 228. (rus.).
15. Somov E.V. Geoinformational modeling for the assessment of the quality of transport services for urban population (case study of the south-west of Moscow). *Moscow University Bulletin. Series 5, Geography*. 2013; 1:42-46. (rus.).
16. Lemeshko B.Yu., Lemeshko S.B., Postovalov S.N., Chimitova E.V. *Statistical Data Analysis, Simulation and Study of Probability Regularities. Computer Approach: monograph*. Novosibirsk, NSTU Publisher, 2011; 888. (rus.).
17. Aivazyan S.A., Buchstaber V.M., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. *Applied Statistics: Classification and Dimension Reduction. Finance and statistics*. Moscow, Finance and statistics, 1989; 607. (rus.).
18. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction, Second Edition*. Springer, 2009; 533.
19. Hosmer D.W., Lemeshow S. *Applied Logistic Regression, 2nd ed.* New York, Chichester, Wiley, 2002; 392.

Received January 11, 2022.

Adopted in revised form on February 15, 2022.

Approved for publication on February 15, 2022.

B I O N O T E S: **Denis N. Vlasov** — Doctor of Technical Science, Professor, Professor of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Deputy Director; **Institute of the General Plan of Moscow**; 2/14 2nd Brestskaya st., Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 289259, Scopus: 57193410512, ResearcherID: A-6226-2017, ORCID: 0000-0001-8765-4485; VlasovDN@mgsu.ru;

Ekaterina G. Gogina — postgraduate student of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; 1st category engineer; **Institute of the General Plan of Moscow**; 2/14 2nd Brestskaya st., Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 992262; eggogina@mail.ru;

Natalia V. Shirokaya — Chief Specialist; **Institute of the General Plan of Moscow**; 2/14 2nd Brestskaya st., Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 878404; shirokonidze@yandex.ru.

Authors' contribution: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Влияние религиозного туризма на качество системы транспортного обслуживания исторического города

Нина Васильевна Данилина, Раэда К. Али Алдайни

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Исторические города, обладающие религиозной функцией, часто сталкиваются с транспортными проблемами, проблемой обеспечения качественной работы улично-дорожной сети (УДС). Исчерпание ее пропускной способности особенно актуально в связи с большим количеством туристов, паломников, посещающих город в отдельные дни и периоды религиозных праздников, что создает проблему падения качества — комфортности и безопасности городской среды как для жителей, так и гостей города.

Материалы и методы. В качестве метода исследования сформулирован подход к оценке работы УДС города на основе расчета соотношения транспортного спроса и предложения на транспортную инфраструктуру, обеспечивающую различные виды мобильности населения. Оценка работы представлена с использованием расчетного коэффициента загрузки k и существующей системы определения уровней обслуживания (LOS). Предмет исследования — информация о работе транспортной системы исторического города Кербела в Ираке, который является религиозным центром для мусульман мира.

Результаты. На основе натурных исследований транспортной ситуации в секторе города «Кербела – Вавилон» выполнен анализ функционирования транспортной и пешеходной инфраструктуры УДС для трех выделенных зон с характерными градостроительными условиями в зависимости от удаления районов от исторического религиозного центра. Рассчитаны коэффициенты загрузки на основе данных транспортного спроса и предложения, определен уровень обслуживания населения для обычных дней и в периоды религиозных праздников.

Выводы. Исходя из результатов оценки работы УДС сектора города с применением разработанного подхода, сформулированы основные проблемы и пути решения имеющейся транспортной системы города Кербела, что является первым шагом к ее реконструкции в целях устойчивого развития города.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: исторический город, религиозная функция, транспортный спрос и предложение, транспортная инфраструктура, улично-дорожная сеть, коэффициент загрузки, уровень обслуживания

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Данилина Н.В., Алдайни Р.К.А. Влияние религиозного туризма на качество системы транспортного обслуживания исторического города // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 2. С. 168–177. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.168-177

Автор, ответственный за переписку: Нина Васильевна Данилина, grado@mgsu.ru.

The impact of religious tourism on the quality of the urban transport system in the historical city

Nina V. Danilina, Raeda K. Ali Aldaini

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

ABSTRACT

Introduction. Historical cities, functioning as religious sites, often encounter transport problems affecting the operation of road networks. The problem of traffic capacity exhaustion is particularly relevant due to large numbers of tourists and pilgrims coming to historical cities on certain days and staying there during the periods of religious holidays. The problem affects the safety, comfort, and quality of the urban environment for urban residents and guests.

Materials and methods. The authors have formulated an approach to assessing the operation of urban road networks and use it as a research method whereby they calculate the transport demand and supply factor for the transport infrastructure ensuring different types of population mobility. Load factor k and levels of service (LOS) are employed to assess the operation of urban networks. The subject of research is the operation of the transit system in the historical city of Karbala, Iraq, which is a religious centre for Muslims from all over the world.

Results. The authors conducted a field study on the transport situation in the Karbala – Babil area, analyzed the operation of transport and pedestrian infrastructures in three selected zones featuring characteristic urban planning conditions, depending on the distance between each zone and the historical religious centre. Transport demand and supply data are applied to calculate load factors; the level of public service is determined for ordinary days as well as days and periods of religious holidays.

Conclusions. Given the assessment results, obtained for the urban road network using the developed approach, the main

problems of the present-day transport system in the city of Karbala and their solutions are formulated, which is the first step towards the transport system reconstruction for the purpose of sustainable urban development.

KEYWORDS: historical city, religious function, transport supply and demand, transport infrastructure, road network, load factor, service level

FOR CITATION: Danilina N.V., Aldaini R.K.A. The impact of religious tourism on the quality of the urban transport system in the historical city. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(2):168-177. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.168-177 (rus.).

Corresponding author: Nina V. Danilina, grado@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В городах мира отмечаются транспортные проблемы, которые создают угрозу их устойчивому развитию. Особенно актуально это для исторических городов, перед транспортными системами которых стоит не только задача обеспечения ежедневных потребностей жителей города, но также и ее адаптация к периодам проведения массовых религиозных праздников, когда жизнь города может быть полностью парализована.

Исторических городов, которые обладают религиозной функцией, насчитывается большое количество, особенно в мусульманских странах, в частности, в Ираке. Яркий пример такого города — Кербела, расположенная в провинции Кербела. В городе наблюдается транспортный коллапс в дни религиозных праздников.

В статье рассматривается вопрос разработки подхода к планированию «гибкой» системы транспортного обслуживания, которая позволит создать комфортные и безопасные условия движения для населения и гостей города круглогодично.

Удовлетворение потребностей пользователей в комфортной и безопасной транспортной системе города — один из показателей оценки ее работы, распространенный в мировой практике. В качестве фактора оценки может быть использован состав и провозные возможности различных видов транспорта [1, 2]. Другим параметром может выступать доступ населения к городским территориям, который будет измеряться продолжительностью поездки [3, 4].

При изучении требований организации транспортной системы туристических городов особое внимание исследователями уделяется взаимодействию в системе «турист – информационное пространство – городская среда», в которой качество связей будет определять эффективность всей системы [5]. Акцент делается на структуры мобильности как населения, так и туристов. Существует закономерность — чем больше расстояние до туристического религиозного центра, тем больше людей выберут автомобиль в качестве основного вида транспорта [6, 7].

Другим аспектом, который следует иметь в виду при организации системы транспортного обслуживания города с религиозно-культурной функцией, является то, что ее развитие будет способствовать экономическому благополучию города. Этот факт диктует необходимость учета специфических

потребностей гостей города, при одновременной постановке задачи обеспечения ежедневной жизни постоянного населения [8, 9].

Современный подход к устойчивому развитию городов также предполагает учет тенденций в области транспортного планирования, таких как переход к политике ориентации на пассажирские виды транспорта, город для пешехода, развитие микромобильных видов транспорта [10]. Реализация данных концепций требуется для решения задач глобальных вызовов — адаптации к изменению климата, снижению количества выбросов CO₂ и в целом сокращению антропогенного воздействия от транспорта на среду жизнедеятельности в городах [11, 12]. Мировой опыт показывает, что тенденция отказа от автомобильного транспорта, особенно в туристических городах, востребована как среди населения, так и среди туристов [13–15].

Множество аспектов — градостроительных, экономических, социальных и экологических — устанавливают необходимость разработки научно обоснованного подхода к планированию системы транспортного обслуживания городов, обладающих религиозной функцией.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Порядок исследования оценки транспортного спроса и предложения определен с помощью data-driven подхода, который позволяет принимать на последнем этапе обоснованные проектные решения и предоставляет инструменты для лучшего понимания, проверки и количественной оценки результатов решений, основанных на сборе и анализе данных. Порядок исследования представлен на рис. 1.

С точки зрения планирования устойчивой системы транспортного обслуживания города с учетом функции религиозно-культурного туризма следует решить задачу планирования «гибкой» системы транспортного обслуживания, которая обеспечит соответствие транспортного спроса T_{ij} и транспортного предложения A_{ij} как в обычные дни, так и в дни религиозных праздников. Теоретическая модель исследования описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} T_{ij}^{com} < A_{ij}^{total} \\ T_{ij}^{rel.f} \leq A_{ij}^{total} \\ A_{ij}^{total} = const \end{cases}, \quad (1)$$



Рис. 1. Порядок исследования оценки транспортного спроса и предложения

Fig. 1. A methodology of research on the evaluation of transport supply and demand

где T_{ij}^{com} — транспортный спрос в обычные дни, чел./ч; $T_{ij}^{rel.f}$ — транспортный спрос в дни религиозных праздников, чел./ч; A_{ij}^{total} — объем транспортной инфраструктуры, оцениваемый пропускной способностью улично-дорожной сети (УДС) города, чел./ч.

Транспортный спрос представляет собой то проектное количество пользователей УДС, на которое должен быть рассчитан объем транспортной инфраструктуры. Структура транспортного спроса определяется распределением населения по видам подвижности. Пропускная способность — это максимальный поток транспортных средств, который может вместить дорога¹. В любом случае сравнение истинного потока спроса с пропускной способностью является основным объектом анализа пропускной способности и уровня обслуживания, а соотношение v/c — основным результатом такого анализа¹ [16].

В статье рассматриваются виды подвижности населения, представленные в табл. 1. Для каждого вида подвижности необходимо размещение соответствующей инфраструктуры, обладающей расчетной

пропускной способностью P , ед./ч, транспортного предложения.

В дни религиозных праздников транспортный спрос растет по всем видам подвижности, что является причиной перегрузки УДС. Гибкость системы транспортного обслуживания обеспечивается в случае, если транспортное предложение УДС может трансформироваться в зависимости от величины транспортного спроса. В табл. 2 приведены расчетные параметры транспортного спроса и предложения.

Оптимизационным параметром системы определен коэффициент загрузки k , рассчитываемый как отношение расчетной интенсивности V к пропускной способности C каждого из элементов инфраструктуры, который позволяет выполнить оценку соотношения транспортного спроса и предложения:

$$k = \frac{V}{C} . \tag{2}$$

Представленный коэффициент используется в системе назначения уровней обслуживания (Level of service — LOS) каждого из элементов инфраструктуры¹ (рис. 2).

¹ National Research Council, Transportation Research Board: Highway Capacity Manual (HCM) 2010. 2010.

Табл. 1. Инфраструктура транспортного предложения и спроса населения

Table 1. Transport supply and demand infrastructure

Транспортный спрос (вид подвижности) T_{ij}^{com} Transport demand (type of mobility) T_{ij}^{com}	Единица измерения пропускной способности, P Traffic capacity measurement unit, P	Инфраструктура транспортного предложения A_{ij}^{total} Transport supply infrastructure A_{ij}^{total}
Пешеходное движение Pedestrian traffic	пеш./ч pedestrians/hour	Тротуары, пешеходные переходы, пешеходные зоны Sidewalks, pedestrian crossings, pedestrian areas
Микромобильные транспортные средства/велосипедное движение Micro-mobility vehicles/bicycle traffic	ед./ч units/hour	Выделенные полосы для движения, парковки, пункты проката Bus lanes, parking lots, rent-a-car centres
Пассажирские перевозки Passenger transportation	пасс./ч passengers/hour	Выделенные полосы, остановочные пункты Bus lanes, bus stops
Движение на личном автомобиле Private transport traffic	прив. авт./ч private vehicles/hour	Полосы движения, перекрестки, парковки Lanes, crossings, parking lots

Табл. 2. Параметры для оценки уровня транспортного обслуживания населения

Table 2. Level of service assessment parameters

Блок данных Data	Параметры Parameters	Обозначение Letter symbol	Единица измерения Measurement unit
Градостроительные параметры Urban planning parameters	Численность населения Population figures	N	тыс. чел. thousand persons
	Плотность УДС Road network density	P	км/км ² km/km ²
	Обеспеченность населения УДС Road network availability for the population	P	чел./км persons/km
Параметры транспортного предложения Transport supply parameters	Площадь транспортной зоны Transport coverage area	S	км ² km ²
	Протяженность УДС Road network spread	L	км km
	Пропускная способность** Traffic capacity	C	
	• на автомобиле by car	C_{cars}	прив. ед./ч normalized units/hour
	• на пассажирском транспорте by public transport	C_{publ}	прив. ед./ч normalized units/hour
	• пешком on foot	C_{ped}	чел./ч persons/hour
Параметры транспортного спроса Transport demand parameters	Расчетная часовая интенсивность* Per-hour intensity	V	
	• на автомобиле by car	V_{cars}	прив. ед./ч normalized units/hour
	• на пассажирском транспорте by public transport	V_{publ}	прив. ед./ч normalized units/hour
	• пешком on foot	V_{ped}	чел./ч persons/hour

Примечание: * — показатель «Расчетная часовая интенсивность» соответствует международному параметру Design Hourly Volume (HCM, 2010); ** — показатель «Пропускная способность» соответствует международному параметру Traffic Capacity per hour (HCM, 2010).

Note: * — The per-hour intensity parameter corresponds to the international parameter of Design Hourly Volume (HCM, 2010); ** — The traffic capacity parameter corresponds to the international parameter of Traffic Capacity per hour (HCM, 2010).

Уровень обслуживания LOS Level of service	$k = V/C$	Оценка условия движения Traffic conditions
<i>A</i>	< 0,28	Свободные условия движения Free traffic conditions
<i>B</i>	> 0,44–0,28	Относительно свободные условия движения автомобилей пачками Relatively free traffic conditions for cars moving in groups
<i>C</i>	> 0,64–0,44	Движение автомобилей в связанном потоке Vehicle motion in a synchronized flow
<i>D</i>	> 0,87–0,64	Плотное движение в потоке Dense motion in a flow
<i>E</i>	> 1,00–0,87	Движение потока на грани истощения пропускной способности улицы Flow motion on the verge of traffic capacity exhaustion
<i>F</i>	≥ 1 varies	Пропускная способность улицы истощена Traffic capacity exhausted

Рис. 2. Система уровней обслуживания магистральных многополосных улиц (HCM, 2010)

Fig. 2. The system of service levels for main multi-lane streets (HCM, 2010)

В международной практике проектирования¹ [17, 18] оптимальным считается уровень D , обеспечивающий коэффициент загрузки $k = 0,75-0,8$, что принято в настоящем исследовании за целевой показатель.

Таким образом, для города, специализирующегося на религиозном туризме, создающем дополнительную нагрузку на транспортную инфраструктуру города, стоит задача обеспечить необходимый уровень загрузки $k = 0,8$ каждого из элементов транзитной инфраструктуры магистральной УДС как в обычные дни, так и в дни религиозных праздников.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования определен город Кербела (рис. 3), центральная историческая зона которого является крупным религиозным объектом, в котором расположены святые и имама Хусейна (внука пророка ислама) и его семьи.

Население Кербелы растет и в 2018 г. приблизилось к 700 тыс. человек, существует тенденция для дальнейшего увеличения². Рост численности населения обуславливает рост транспортного спроса в городе, по оценке трафик в городе ежегодно увеличивается на 5 % [19]. Кроме того, каждый год город посещают миллионы туристов с религиозными целями. Наиболее активные для посещения — праздники в месяцы лунного мусульманского календаря Сафар (первый и второй месяцы) и Шаабан (восьмой месяц), а также день Арафа — паломничество мусульман к священной горе Арафат (двенадцатый месяц). На рис. 4 показан объем пассажиропотока за последние 11 лет. После спада религиозного туризма начиная с 2014 г. наблюдается стабильное увеличение количества туристов с небольшим снижением в период начала пандемии COVID-19 в 2020 г. Общий тренд (красная линия на диаграмме) — на стабильный транспортный спрос со сторо-

²Central organization for statistic and information technology, Iraq.

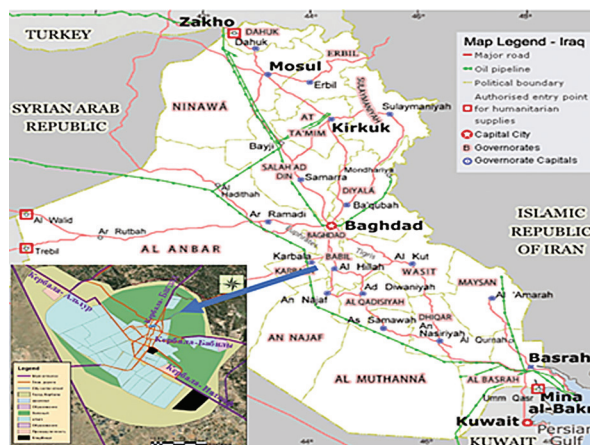


Рис. 3. Местоположение и карта города Кербела
Fig. 3. Location and map of the city of Karbala

ны въезжающих туристов с тенденцией роста после стабилизации ситуации с пандемией.

На рис. 5 представлено распределение входящего потока автомобилей и пешеходов, въезжающих в город с четырех магистральных направлений: Багдад – Кербела, Бабиль – Кербела, Наджаф – Кербела, Альхур – Кербела в месяц Сафар.

Для проведения исследований по оценке соотношений транспортного спроса и предложения был выбран сектор Бабиль, обслуживаемый автодорогой Бабиль – Кербела, который является одним из наиболее активно развивающихся в городе, а также «въездными» воротами в город во время религиозных праздников.

Границей сектора с северо-востока служат границы города, с юга — магистральная дорога Наджаф – Кербела, а с запада — коллекторные дороги Хай Альхуссейни (рис. 6).

Далее сектор Бабиль был разделен на 3 зоны, каждая из которых имеет специфические градостроительные параметры, представленные в табл. 3:

- зона 1 — исторический центр, здесь расположены объекты религиозного значения, фокусы тяготения туристического туризма;

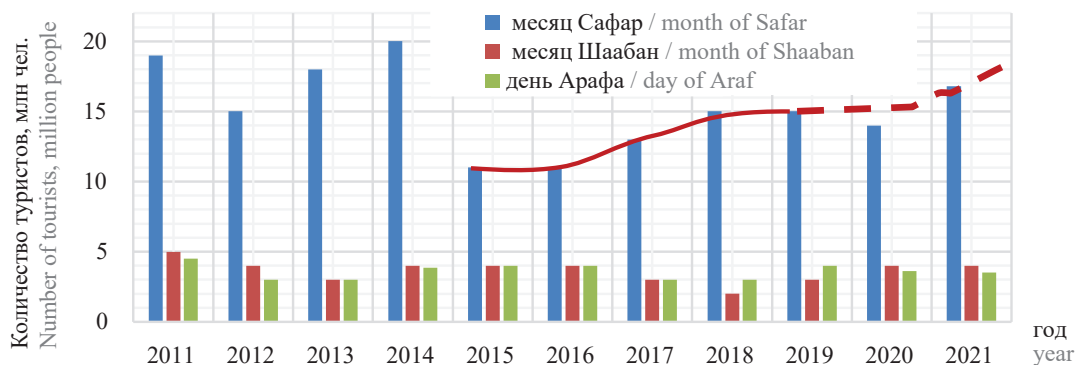


Рис. 4. Пассажиропоток туристов с религиозными целями в Кербеле в наиболее активные дни и периоды
Fig. 4. The passenger traffic of tourists pursuing religious purposes in Karbala in the course of most busy days and periods

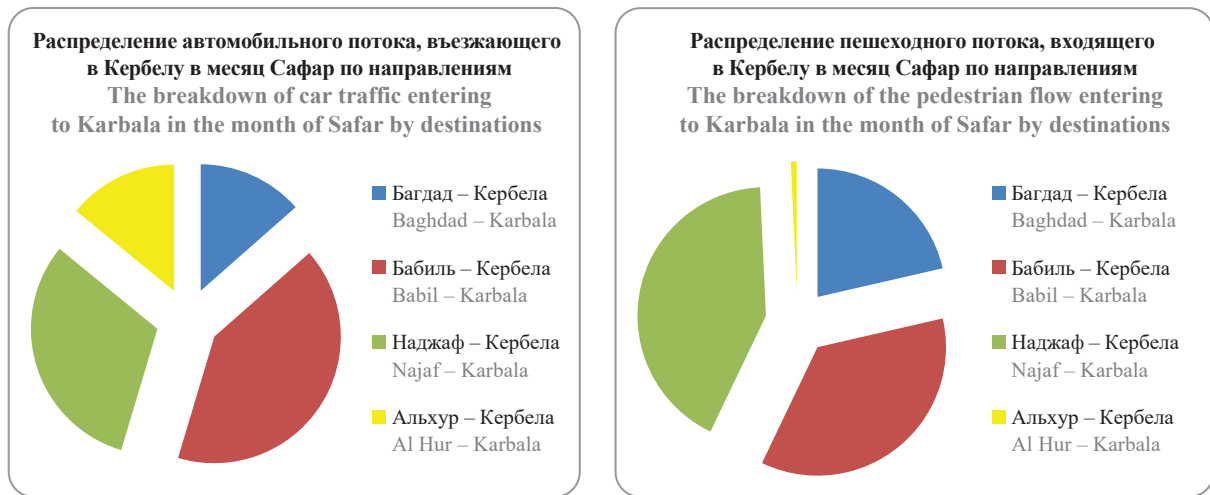


Рис. 5. Распределение транспортного спроса туристов с религиозными целями

Fig. 5. The breakdown of transport demand by tourists pursuing religious purposes

- зона 2 — срединная многофункциональная высокоплотная часть города;
- зона 3 — периферийная зона сложившейся жилой застройки.

Соотношение спроса и предложения на транспортную (проезжая часть) и пешеходную (тротуары) инфраструктуру рассчитано для двух магистральных улиц в зоне 3, шести магистральных улиц в зоне 2 и четырех улиц в зоне 1. Результаты расчетов градостроительных параметров приведены в табл. 3.

Геометрические данные были собраны в ходе натурных обследований и с использованием инструментов GIS для картографических измерений в зависимости от доступных спутниковых фотографий Кербелы, таких как количество, ширина полос движения, право проезда и геометрические характеристики подходов. Для оценки условий движения применялись онлайн камеры дорожного движения. Исследования проводились в обычные будние дни (понедельник, вторник и среда) в утренний пиковый период 7.00–9.00 и в дни религиозных праздников в пиковый период 14.00–16.00. Информация собрана с помощью 15-минутных сеансов записи данных. Исследования выполнялись с использова-

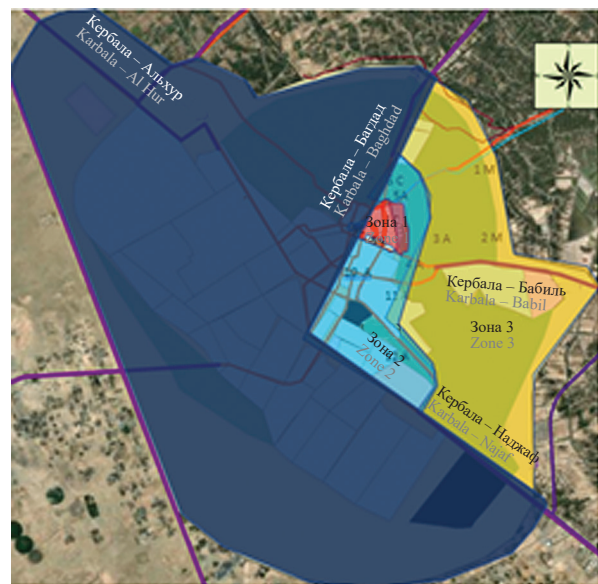


Рис. 6. План города Кербела и границы сектора «Кербела – Бабиль» с зонами и расположением главных улиц

Fig. 6. Karbala city plan and borders of the Karbala – Babil sector featuring zones and the location of the main streets

Табл. 3. Исходные данные по транспортным зонам сектора «Кербела – Бабиль»

Table 3. Input data on transport zones of the Karbala – Babil sector

Зона Urban zone	Население, чел. Population, people	Площадь, км ² Area, sq. km	Протяженность УДС, км Road network, km	Плотность населения, чел./км ² Population density, pers./sq./km	Плотность УДС, км/км ² Road network density, km/sq. km
1	5,620	0,98	4,70	5,735	4,80
2	42,997	16,2	28,22	2,654	1,74
3	38,049	48,12	34,82	790	0,72

нием программного обеспечения Highway Capacity System (HCS). По результатам получены картограммы транспортных и пассажирских потоков (рис. 7).

В табл. 4 приведены численные значения коэффициента загрузки k для каждого случая. В зависимости от значения k был определен соответствующий уровень обслуживания (LOS) для обычных и религиозных дней.

По результатам анализа соотношения транспортного спроса и предложения сделаны следующие выводы:

1. Для зоны 1, наиболее близкой к историческому центру, характерна высокая загрузка как в обычные дни, так и в дни религиозных праздников. В периоды религиозных праздников ситуация становится неудовлетворительной — УДС перегру-

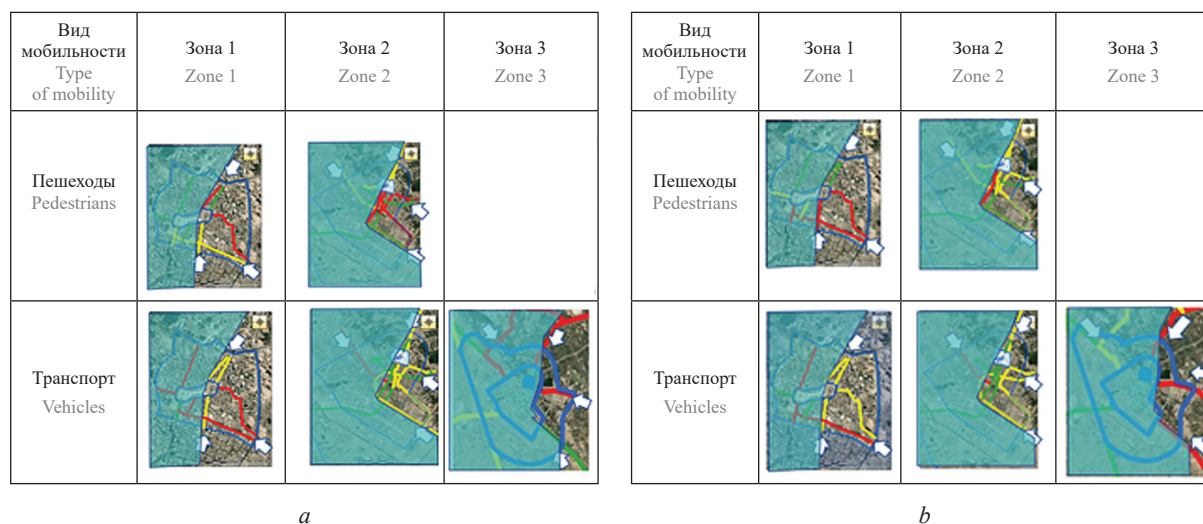


Рис. 7. Коэффициент загрузки k для различных видов транспорта для трех зон: a — обычные дни; b — дни религиозных праздников

Fig. 7. Load coefficient k for different means of transport in 3 urban zones: a — ordinary days; b — days of religious holidays

Табл. 4. Расчет коэффициента загрузки k УДС в восточном секторе «Кербела – Бабил»

Table 4. Calculation of load factor k of the road network in the eastern sector of the Karbala – Babil zone

Номер зоны Urban zone number	Вид дней Types of days	Коэффициент загрузки k для вида мобильности Load coefficient k for different types of mobility	
		Пешком Pedestrians	Транспорт Vehicles
1	Обычные дни Ordinary days	0,7 (D)	0,89 (E)
	Религиозные дни Days of religious holidays	>1 (F)	>1 (F)
2	Обычные дни Ordinary days	0,56 (D)	0,88 (E)
	Религиозные дни Days of religious holidays	0,95 (F)	>1 (F)
3	Обычные дни Ordinary days	*	0,69 (D)
	Религиозные дни Days of religious holidays	0,8* (D)	>1 (F)

Примечание: * Зона 3 — территория частной усадебной застройки с низкой интенсивностью транзитного движения пешеходов встречается редко. Пешеходный поток появляется только во время основных религиозных мероприятий.

Note: * Zone 3 is the area of private mansions; it seldom has intensive pedestrian traffic. Pedestrian flows emerge solely on the days of major religious events.

жена, и уровень обслуживания оценивается как F , что диктует необходимость ее реконструкции.

2. Коэффициент загрузки k для зоны 2 в обычные дни для пешеходов составляет 0,56, что показывает удовлетворительные условия движения для пешеходов. Во время религиозных праздников ситуация становится неудовлетворительной за счет резкого роста интенсивности пешеходного потока в направлении исторического центра города ($k = 0,95$). Коэффициент загрузки в обычные дни для частных автомобилей и общественного транспорта высокий и соответствует уровню обслуживания E ($k = 0,88$), что объясняется высокой плотностью застройки, расположенной в данной зоне. Транспортная ситуация становится неудовлетворительной в дни религиозных праздников, когда пропускная способность проезжих частей исчерпывается ($k > 1$, уровень F).

3. Зона 3 представляет собой территорию с преобладанием усадебной частной застройки и низким уровнем развития УДС. В обычные дни движение пешеходов неактивно, направленные пешеходные потоки формируются только в дни религиозных праздников, что соответствует удовлетворительному уровню обслуживания D . Основной проблемой является не столько пропускная способность тротуаров, сколько их низкое качество — отсутствие покрытий, благоустройства, инженерного обеспечения.

На рис. 8 представлены сводные данные по коэффициентам загрузки транспортных и пешеходных путей в различных зонах города в зависимости от вида дня — обычный или праздничный.

Оценка работы транспортной системы Кербелы позволяет резюмировать:

Анализ работы УДС города Кербела показал, в настоящее время система транспортного обслуживания ориентирована на автомобильный личный транспорт. Отсутствие организованной системы пассажирских перевозок, низкий уровень развития пешеходной и велотранспортной инфраструктуры не свидетельствуют о несоответствии существующих условий принципам устойчивого развития.

Транспортная система Кербелы — несбалансированная: соотношение транспортного спроса/предложения соответствует уровню обслуживания D и более, что говорит об исчерпании ее пропускной способности и низком качестве работы по оказанию транспортных услуг населению и гостям города.

Особенностью города, обладающего религиозной функцией, служит значительное повышение транзитной нагрузки транспорта и пешеходов в праздничные дни. Для обеспечения устойчивости работы транспортной системы требуется проектирование гибких планировочных решений, способных адаптироваться к различным условиям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определение соотношения транспортного спроса и предложения путем расчета коэффициента за-

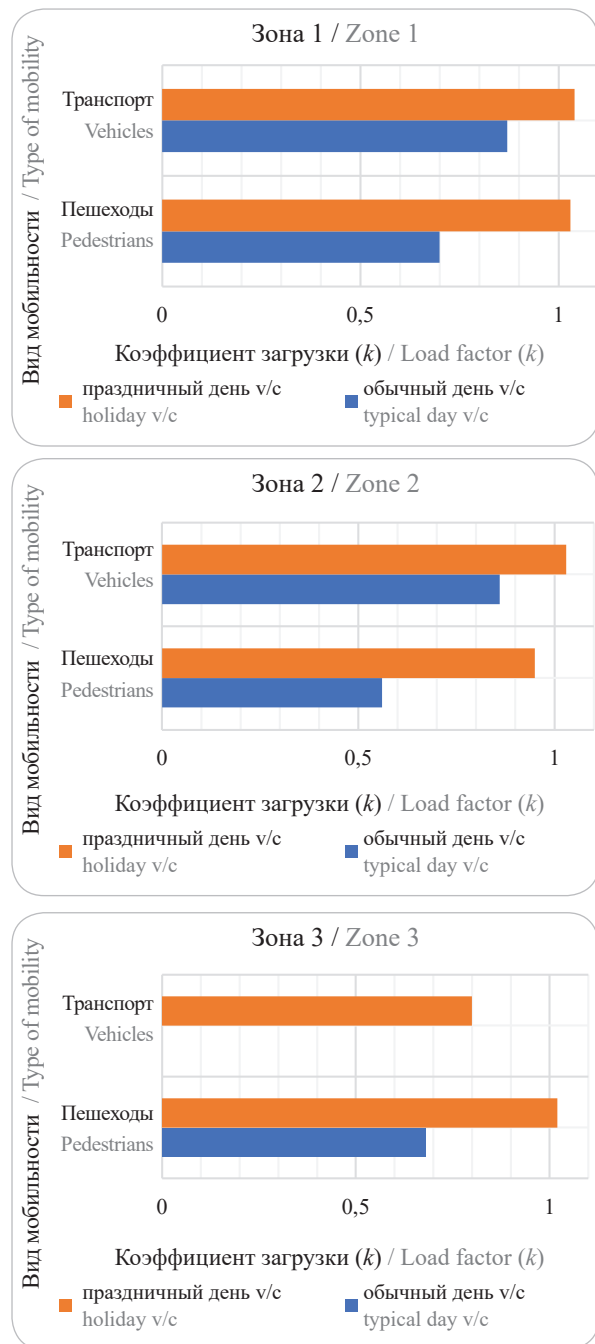


Рис. 8. Соотношение транспортного спроса/предложения для главного восточного входа в обычные дни и в религиозные праздники

Fig. 8. The ratio of transport demand/supply for the main eastern entrance on ordinary days and days of religious holidays

грузки транспортной инфраструктуры и уровня обслуживания LOS является разумным подходом для оценки системы транспортного обслуживания, в том числе и в городах, обладающих религиозной функцией. Исследование подтверждает необходимость формирования гибких планировочных решений, позволяющих адаптировать имеющуюся транспортную инфраструктуру УДС в зависимости от спроса в обычные и праздничные дни. В продолжение из-

учения данного вопроса возникает потребность в разработке типовых гибких решений для городских улиц в зависимости от градостроительных условий: удаления от центра города, типа и плотности застройки, особенностей подвижности населения.

Также важно внедрение современных тенденций ориентации на пассажирские виды транспорта и развитие активной мобильности, что даст возможность обеспечить устойчивое развитие города и его транспортной системы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Lancée S., Veenhoven R., Burger M.* Mood during commute in the Netherlands // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2017. Vol. 104. Pp. 195–208. DOI: 10.1016/J.TRA.2017.04.025
2. *Li Z., Zhang Y.* Hierarchical evaluation algorithm of logistics carrying capacity based on transfer learning in multimedia environment // *Multimedia Tools and Applications*. 2019. Vol. 78. Issue 4. Pp. 4481–4501. DOI: 10.1007/S11042-018-6000-Y
3. *Morris E.A., Guerra E.* Are we there yet? Trip duration and mood during travel // *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2015. Vol. 33. Pp. 38–47. DOI: 10.1016/J.TRF.2015.06.003
4. *Mouratidis K., Ettema D., Næss P.* Urban form, travel behavior, and travel satisfaction // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2019. Vol. 129 (C). Pp. 306–320. DOI: 10.1016/J.TRA.2019.09.002
5. *Wang P., Hawk W.B., Tenopir C.* Users' interaction with World Wide Web resources: An exploratory study using a holistic approach // *Information Processing & Management*. 2000. Vol. 36. Issue 2. Pp. 229–251. DOI: 10.1016/S0306-4573(99)00059-X
6. *Stevens M.R.* Does Compact Development Make People Drive Less? // *Journal of the American Planning Association*. 2016. Vol. 83. Issue 1. Pp. 7–18. DOI: 10.1080/01944363.2016.1240044
7. *Næss P.* Urban form and travel behavior: Experience from a Nordic context // *Journal of Transport and Land Use*. 2012. Vol. 5. Issue 2. Pp. 21–45. DOI: 10.5198/jtlu.v5i2.314
8. *Taghavi M., Soleimani A.G.* The factors influencing the growth of the tourism industry // *Econ Res*. 2017. Vol. 3. P. 157.
9. *Shergill G.S., Sun W.* Tourists' Perceptions Towards Hotel Services in New Zealand // *International Journal of Hospitality and Tourism Administration*. 2004. Vol. 5. Issue 4. P. 1–29. DOI: 10.1300/J149V05N04_01
10. *Макарова И.В., Хабибуллин Р.Г., Шубенкова К.А.* Направления и методы обеспечения устойчивого развития транспортной системы города // *Информационные технологии и инновации на транспорте: мат. 2-й Междунар. науч.-практ. конф.* 2016. С. 315–327.
11. *Abou-Zeid M., Fujii S.* Travel satisfaction effects of changes in public transport usage // *Transportation*. 2015. Vol. 43. Issue 2. Pp. 301–314. DOI: 10.1007/s11116-015-9576-3
12. *De Kruijff J., Ettema D., Dijst M.* A longitudinal evaluation of satisfaction with e-cycling in daily commuting in the Netherlands // *Travel Behaviour and Society*. 2019. Vol. 16. Issue 6. Pp. 192–200. DOI: 10.1016/J.TBS.2018.04.003
13. *Friman M., Ettema D., Gärling T.* Psychometric analysis of the satisfaction with travel scale // *Transportation Research Part A Policy and Practice*. 2012. Vol. 48. Pp. 132–145. DOI: 10.1016/j.tra.2012.10.012
14. *Delbosc A., Currie G.* Exploring the relative influences of transport disadvantage and social exclusion on well-being // *Transport Policy*. 2011. Vol. 18. Issue 4. Pp. 555–562.
15. *Olsson L.E., Gärling T., Ettema D., Friman M.* Happiness and Satisfaction with Work Commute // *Social Indicators Research*. 2013. Vol. 111. Issue 1. Pp. 255–263. DOI: 10.1007/s11205-012-0003-2
16. *Roess R.P., Prassas E.S., McShane W.R.* *Traffic Engineering*. 4th ed. New York : Pearson, 2011. 739 p.
17. *Mannering F.L., Washburn S.S.* *Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis*, 5th ed. John Wiley & Sons, Inc., 2013. 350 p.
18. *Litman T.* *Introduction to Multi-Modal Transportation Planning Principles and Practices*. Victoria Transport Policy Institute, 2021. 21 p.
19. *Sofia G., Al-Haddad A., Al-Haydari I.S.* Improvement of traffic performance at intersections in Karbala city // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 162. P. 01032. DOI: 10.1051/mateconf/201816201032

Поступила в редакцию 7 февраля 2022

Принята в доработанном виде 24 февраля 2022 г

Одобрена для публикации 24 февраля 2022 г.

Об авторах: **Нина Васильевна Данилина** — доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 8945-2217, Scopus: 57192377385, ORCID: 0000-0002-9465-6435; grado@mgsu.ru;

Разда К. Али Алдайни — аспирант кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 9487-5457, ORCID: 0000-0001-6436-9067; grado@mgsu.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Lancée S., Veenhoven R., Burger M. Mood during commute in the Netherlands. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2017; 104:195-208. DOI: 10.1016/J.TRA.2017.04.025
2. Li Z., Zhang Y. Hierarchical evaluation algorithm of logistics carrying capacity based on transfer learning in multimedia environment. *Multimedia Tools and Applications*. 2019; 78(4):4481-4501. DOI: 10.1007/S11042-018-6000-Y
3. Morris E.A., Guerra E. Are we there yet? Trip duration and mood during travel. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2015; 33:38-47. DOI: 10.1016/J.TRF.2015.06.003
4. Mouratidis K., Ettema D., Næss P. Urban form, travel behavior, and travel satisfaction. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2019; 129(C):306-320. DOI: 10.1016/J.TRA.2019.09.002
5. Wang P., Hawk W.B., Tenopir C. Users' interaction with World Wide Web resources: An exploratory study using a holistic approach. *Information Processing & Management*. 2000; 36(2):229-251. DOI: 10.1016/S0306-4573(99)00059-X
6. Stevens M.R. Does Compact Development Make People Drive Less? *Journal of the American Planning Association*. 2016; 83(1):7-18. DOI: 10.1080/01944363.2016.1240044
7. Næss P. Urban form and travel behavior: Experience from a Nordic context. *Journal of Transport and Land Use*. 2012; 5(2):21-45. DOI: 10.5198/jtlu.v5i2.314
8. Taghavi M., Soleimani A.G. The factors influencing the growth of the tourism industry. *Econ Res*. 2017; 3:157.
9. Shergill G.S., Sun W. Tourists' Perceptions Towards Hotel Services in New Zealand. *International Journal of Hospitality and Tourism Administration*. 2004; 5(4):1-29. DOI: 10.1300/J149V05N04_01
10. Makarova I.V., Khabibullin R.G., Shubenkova K.A. Directions And Methods Of Ensuring Sustainable Development of The City's Transport System. *Information technologies and innovations in transport: 2nd International Scientific and Practical Conference*. 2016; 315-327. (rus.).
11. Abou-Zeid M., Fujii S. Travel satisfaction effects of changes in public transport usage. *Transportation*. 2015; 43(2):301-314. DOI: 10.1007/s11116-015-9576-3
12. De Kruijf J., Ettema D., Dijst M. A longitudinal evaluation of satisfaction with e-cycling in daily commuting in the Netherlands. *Travel Behaviour and Society*. 2019; 16(6):192-200. DOI: 10.1016/J.TBS.2018.04.003
13. Friman M., Ettema D., Gärling T. Psychometric analysis of the satisfaction with travel scale. *Transportation Research Part A Policy and Practice*. 2012; 48:132-145. DOI: 10.1016/j.tra.2012.10.012
14. Delbosc A., Currie G. Exploring the relative influences of transport disadvantage and social exclusion on well-being. *Transport Policy*. 2011; 18(4):555-562
15. Olsson L.E., Gärling T., Ettema D., Friman M. Happiness and Satisfaction with Work Commute. *Social Indicators Research*. 2013; 111(1):255-263. DOI: 10.1007/s11205-012-0003-2
16. Roess R.P., Prassas E.S., McShane W.R. *Traffic Engineering. 4th Edition*. New York, Pearson, 2011; 739.
17. Mannering F.L., Washburn S.S. *Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis, 5th edition*. John Wiley & Sons, Inc., 2013; 350.
18. Litman T. *Introduction to Multi-Modal Transportation Planning Principles and Practices*. Victoria Transport Policy Institute, 2021; 21.
19. Sofia G., Al-Haddad A., Al-Haydari I.S. Improvement of traffic performance at intersections in Karbala city. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 162:01032. DOI: 10.1051/mateconf/201816201032

Received February 7, 2022.

Adopted in revised form on February 24, 2022.

Approved for publication on February 24, 2022.

BIONOTES: **Nina V. Danilina** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 8945-2217, Scopus: 57192377385, ORCID: 0000-0002-9465-6435; grado@mgsu.ru;

Raeda K. Ali Aldaini — postgraduate student of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 9487-5457, ORCID: 0000-0001-6436-9067; grado@mgsu.ru.

All authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflicts of interest.

Защита строительных материалов от биоповреждения

Елена Анатольевна Попихина, Екатерина Сергеевна Трепова,
Светлана Сергеевна Хазова

Российская национальная библиотека (РНБ); г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Очаги биологических повреждений могут приводить к ухудшению эксплуатационных характеристик, повреждению и разрушению строительных и отделочных материалов. Представлены результаты обследования образцов кирпичной кладки и облицовки промышленного здания со следами биоповреждений.

Материалы и методы. Зараженность материалов выявляли методом Коха. Оценка эффективности биоцидов проводили диско-диффузионным методом в модификации определения фунгицидного действия, путем нанесения антисептиков на образцы поврежденных строительных материалов с последующим установлением количества жизнеспособных микроорганизмов в материале и обработкой поврежденных строительных конструкций с последующим контролем содержания микроорганизмов на их поверхности.

Результаты. Исследовали 10 образцов кирпичной кладки и облицовки наружных стен промышленного здания, регулярно подвергающегося поступлению грунтовых вод и скоплению влаги на горизонтальных поверхностях крыш после сильных дождей. Образцы отбирали на участках с твердыми налетами, которые предположительно являлись структурами биологического характера. Высевы на питательную среду показали, что содержание жизнеспособных микроорганизмов во всех исследованных образцах строительных материалов превышало допустимое значение, что свидетельствовало об активном протекании процесса биодеструкции. Определена устойчивость выделенных штаммов микроскопических грибов к биоцидным препаратам, основным действующим веществом которых являются различные производные изотиазолон.

Выводы. Из образцов материалов конструкций из кирпича и отделочных материалов выделены микроскопические грибы, некоторые из них относятся к категориям «агрессивные» и «очень агрессивные» биодеструкторы. В качестве антисептиков для дезинфекционной обработки биологических повреждений строительных материалов рекомендуется использовать биоциды, которые присутствуют на рынке и ранее хорошо зарекомендовали себя: Санатекс, Macrosept, Rocima GT, Rocima 243, Neomid 440 Eco.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: биоцид, антисептик, биологическое повреждение строительных материалов, эффективность биоцидов против микроскопических грибов, устойчивость микроскопических грибов, фунгицидный эффект, определение фунгицидного действия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Попихина Е.А., Трепова Е.С., Хазова С.С. Защита строительных материалов от биоповреждения // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 2. С. 178–187. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.178-187

Автор, ответственный за переписку: Елена Анатольевна Попихина, popikhina@mail.ru.

Protection of building materials from biodeterioration

Elena A. Popikhina, Ekaterina S. Trepova, Svetlana S. Khazova

National Library of Russia; St. Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The foci of biological damage can lead to destruction of building materials. The paper presents the results of an examination of samples of brickwork and cladding of an industrial building with traces of biological damage.

Materials and methods. The contamination of materials was identified using the Koch method. The effectiveness of biocides was evaluated using the disk diffusion method, namely, its modification applied to identify the fungicidal activity by adding antiseptics to samples of damaged building materials, identifying the number of viable microorganisms in the material, processing damaged building structures and monitoring the microorganisms on their surfaces.

Results. The number of viable microorganisms in the studied samples of building materials exceeded the acceptable value, which evidences the process of biodegradation. The resistance of isolated strains of fungi to biocides, that have various derivatives of isothiazolone as the main active ingredient, was determined.

Conclusions. Sanatex, Macrosept, Rocima GT, Rocima 243, Neomid 440 Eco can be recommended for the disinfection treatment of biologically damaged building materials.

KEYWORDS: biocide, antiseptic, biodeterioration of building materials, effectiveness of biocides against fungi, resistance of fungi, fungicidal effect

FOR CITATION: Popikhina E.A., Trepova E.S., Khazova S.S. Protection of building materials from biodeterioration. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(2):178-187. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.178-187 (rus.).

Corresponding author: Elena A. Popikhina, popikhina@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Очаги биологических повреждений строительных и отделочных материалов при эксплуатации зданий и сооружений возникают из-за протечек кровли, проникновения влаги через ограждающие конструкции, нарастания культурного слоя вокруг фундаментов и стен, нарушения гидроизоляции, некачественных водостоков и отмостков, выведения из строя вентиляционных каналов и дренажных систем [1–3]. Таким зданиям необходим биологический контроль и анализ поверхности строительных материалов [4–6], поскольку микроскопические грибы, обладая разнообразными типами метаболизма, способны развиваться на поверхности большинства материалов и резко ухудшать их эксплуатационные характеристики [7–10].

Кроме диагностики биологической коррозии, одним из процессов санации служит обработка конструкций биоцидным препаратом и производство отделочных работ с использованием антисептиков [11, 12]. Своевременное начало работ по устранению источника влаги, а также грамотный подбор эффективных биоцидов — залог успешных результатов по ликвидации биоповреждения [13].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной работе исследовали 10 образцов кирпичной кладки и облицовки наружных стен промышленного здания, регулярно подвергающегося поступлению грунтовых вод и скоплению влаги на горизонтальных поверхностях крыш после сильных дождей. Образцы отбирали на участках с твердыми налетами, которые предположительно являлись структурами биологического характера.

Зараженность определяли высевом суспензии, приготовленной из расчета 1 г материала на 100 мл дистиллированной воды, на твердую питательную среду Чапека-Докса в чашках Петри (метод Коха). Суспензию равномерно распределяли шпателем Дригальского по поверхности. Инкубирование проводили в термостате при температуре 29 ± 2 °С. Через 7–9 суток осуществляли подсчет выросших колоний и пересчитывали на количество микроорганизмов в 1 г исследуемого материала. Содержание жизнеспособных микроорганизмов менее 1000 КОЕ/г материала считается удовлетворительным [14]. Для качественной оценки зараженности использовали метод прямого посева образцов на поверхность питательной среды Чапека-Докса.

Идентификацию выделенных микромицетов выполняли на основе их морфолого-культуральных особенностей с помощью микроскопа Leica, применяя определители отечественных и зарубежных авторов [15–20]. Наименования таксонов представлены в соответствии с электронной базой данных в области микологической номенклатуры Index Fungorum.

Одна из активно используемых и хорошо зарекомендовавших себя групп биоцидов в настоящее время — это препараты, в состав которых входят производные на основе изотиазола, сочетающие хорошие биоцидные свойства с относительной малой токсичностью [21, 22]. Среди представленных на рынке марок препаратов, содержащих в качестве основного действующего агента изотиазол или его производные, наиболее известны, легкодоступны следующие: Санатекс Универсал (ООО «Тиккурила»), Macrosept (Tury Valo), Rocima GT (Dow Chemical Company), Rocima 243 (Dow Chemical Company), Neomid 440 Eco (ООО «Неохим»), средство от плесени концентрат Neomid Home Series 1:1 (ООО «Неохим»). Препараты Санатекс Универсал, Macrosept, Neomid 440 Eco и Neomid Home Series исследовали в концентрациях, рекомендованных соответствующими производителями. Концентрации препаратов группы Rocima выбирали из практического опыта их использования для обработки строительных конструкций, ввиду отсутствия рекомендаций производителя.

Для выявления устойчивости микроскопических грибов, выделенных из исследуемых строительных материалов, к биоцидным препаратам применяли диско-диффузионный метод [23] в модификации определения фунгицидного действия¹. На поверхность твердой питательной среды Чапека-Докса в чашках Петри наносили суспензию спор микромицетов с концентрацией 0,2 млн спор/мл, затем на поверхность зараженной среды помещали диски фильтровальной бумаги, пропитанные биоцидами в соответствующих концентрациях. Инкубировали в течение 14 суток при температуре 29 ± 2 °С, после чего проводили измерение зоны угнетения роста грибов (зона ингибирования), которую определяли как среднее расстояние от края образца до границы роста микромицетов. В качестве контроля чистоты эксперимента использовались не обработанные препаратами бумажные диски.

Эффективность обработки биоцидными препаратами, проявившими способность угнетать развитие микромицетов, выделенных ранее из поврежденных строительных материалов, контролировали при помощи бакпечаток RIDA®STAMP YM-P со стерильной питательной средой, пригодной для роста дрожжей и грибов. Пробы отбирали как до, так и после нанесения антисептика на поверхность ограждающей конструкции при помощи распылителя. Инкубирование проводили при температуре 29 ± 2 °С в течение 2–5 суток, после чего устанавливали количество выросших колоний на поверхности

¹ ГОСТ 9.050-75. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Методы лабораторных испытаний на устойчивость к воздействию плесневых грибов. М., 1975. 7 с.

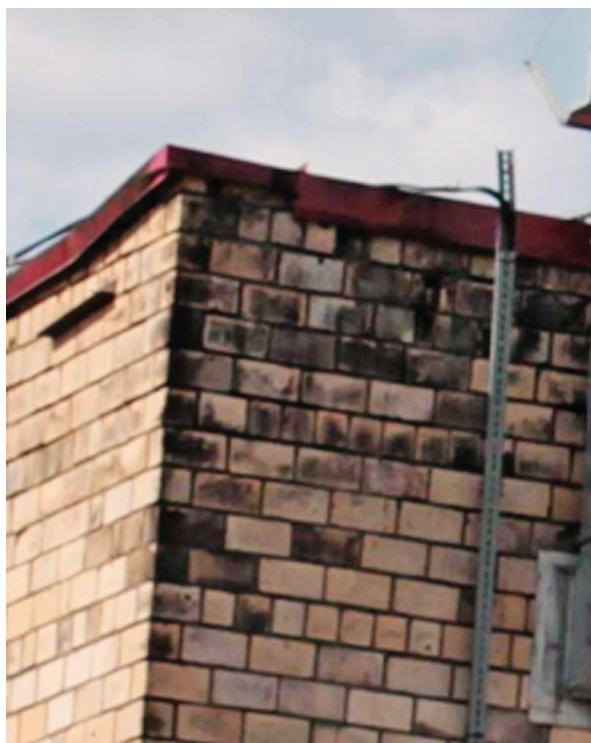
питательной среды в бакпечатке и пересчитывали полученное значение на КОЕ/дм² поверхности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследовали образцы кирпичной кладки, красочного слоя и обшивки здания, на поверхности которых обнаружены налеты черного цвета (рис. 1), также отбирали пробы с участков поверхности



a



b

Рис. 1. Примеры поврежденных участков обследуемых конструкций

Fig. 1. Examples of damaged sites examined constructions

строительных конструкций около основания здания, на которых были видны повреждения в виде отслоения, растрескивания и вспучивания красочного слоя.

Согласно СП 28.13330.2017 (защита строительных конструкций, зданий и сооружений от агрессивных химических и биологических воздействий окружающей среды), наружным строительным конструкциям и отделочным материалам здания присвоена I степень биоповреждения — поверхностный плесневый налет без видимого повреждения.

С целью обнаружения в пробе грибной биоты соскобы строительного материала, снятые с участков с видимыми налетами, подвергали микроскопированию: для этого их предварительно выдерживали 10 минут в 1%-ном растворе гидроксида натрия и подкрашивали метиленовым синим для увеличения контрастности структур. В большинстве анализируемых проб в значительном количестве присутствовали шаровидные темноокрашенные споры 4–4,5 мкм в диаметре (рис. 2).

При определении зараженности материалов строительных конструкций здания высевом суспензии по методу Коха через семь суток культивирования в чашках Петри наблюдался активный рост микроорганизмов, что свидетельствует об их жизнеспособности. Результаты микробиологического анализа образцов представлены в табл. 1.

Количество жизнеспособных микроорганизмов, обнаруженное в образцах строительных конструкций и материалов здания, превышало допустимое значение в 12–287 раз и свидетельствовало об активном протекании процесса биодеструкции. Количество бактерий превышало количество грибов в среднем в 38 раз, что косвенно свидетельствует о высокой влажности конструкций. Количество микромицетов в восьми из десяти проб превышало нормативные значения в 1,5–11 раз, а в пробе № 5 — в 114 раз (табл. 1).

Из образцов строительных материалов выделены микромицеты 23 видов, относящиеся к 12 родам: *Acremonium rutilum* W. Gams, *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl, *Alternaria consortialis* (Thüm.) J.W. Groves & S. Hughes, *Backusella lamprospora* (Lendn.) Benny & R.K. Benj., *Aspergillus flavus* Link, *Aspergillus niger* Tiegh., *Chaetomium globosum* Kunze, *Fusarium sporotrichioides* Sherb., *Mucor plumbeus* Bonord., *Penicillium aurantiogriseum* Dierckx, *Penicillium chrysogenum* Thom, *Penicillium commune* Thom, *Penicillium granulatum* Bainier, *Penicillium lanosum* Westling, *Penicillium oxalicum* Currie & Thom, *Penicillium purpurogenum* Stoll, *Penicillium roqueforti* Thom, *Penicillium solitum* Westling, *Sarocladium strictum* (W. Gams) Summerb., *Talaromyces funiculosus* (Thom) Samson, *Talaromyces ruber* (Stoll) N. Yilmaz, Houbraken, Frisvad & Samson, *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.) Vuill., *Trichoderma viride* Pers.

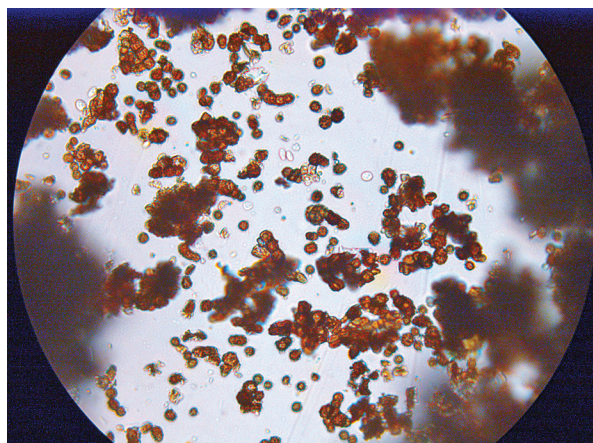


Рис. 2. Споры грибов, обнаруженные при микроскопировании черных налетов (400x)

Fig. 2. Fungal spores detected by the microscopy (400x) of the black fur

Таксономическая структура приведена в табл. 2. Выделенные микромицеты относились к двум отделам: *Micoromycetes* и *Ascomycota*. Отдел *Ascomycota* являлся лидирующим и насчитывал 88 % всего видового богатства микромицетов. Наибольшим видовым богатством отличался класс *Eurotiomycetes*, доля представителей от общего числа видов в отделе *Ascomycota* составляла 67 %.

Среднее число родов в составе семейства — 1,7. Коэффициент средней видовой насыщенности рода составил 2,0. Лидером в спектре видового богатства является род *Penicillium*: количество его представителей — 31 %. Представителей рода *Aspergillus* — 25 %, доля остальных родов варьировалась от 5 до 13 % всего видового богатства (рис. 3).

Среди контаминантов строительных материалов обследованного здания обнаружены семь видов,

Табл. 1. Зараженность образцов строительных материалов, КОЕ/г

Table 1. Fungi and bacteria in samples of construction materials, CFU/g

Номер пробы Sample No.	Место отбора пробы Sampling location	Количество микроорганизмов в 1 г материала Microorganisms in 1 g of the material		
		Общее Total	Бактерий Bacteria	Грибов Fungi
1	Кирпичная кладка Brickwork	12 100	10 800	1300
2	Металлическая лестница Metal stairs	48 600	40 800	7800
3	Красочный слой у фундамента Paint layer at the foundation	274 700	272 000	2700
4	Красочный слой у фундамента Paint layer at the foundation	43 300	41 200	2100
5	Кирпичная кладка Brickwork	286 800	172 400	114 400
6	Кирпичная кладка около кондиционера Brickwork near the air conditioner	141 400	140 000	1400
7	Обшивка над лестницей Sheathing above the stairs	77 900	76 800	1100
8	Красочный слой у фундамента Paint layer at the foundation	96 400	94 400	2000
9	Кирпичная кладка Brickwork	12 200	11 600	600
10	Обшивка у окна Window trim	99 400	88 800	10 600

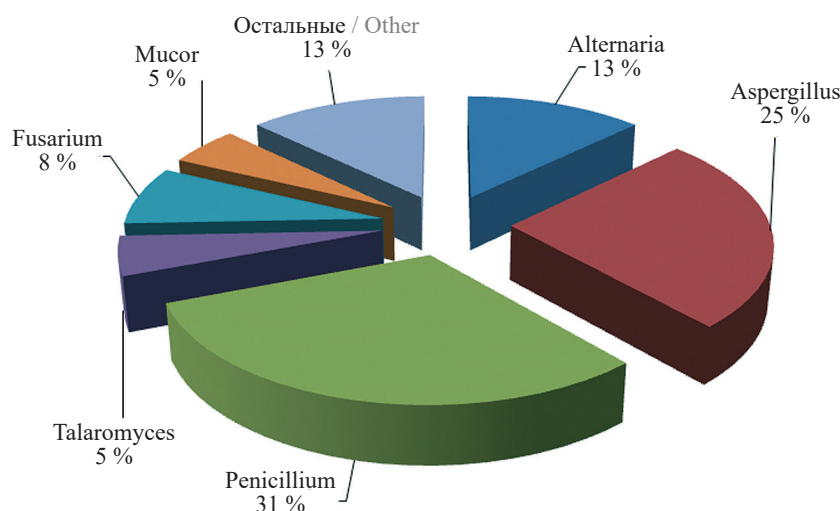


Рис. 3. Доля родов микромицетов (%) строительных материалов

Fig. 3. The share of micromycetes genera (%) isolated from construction materials

относящиеся к категориям «агрессивные» и «очень агрессивные» биодеструкторы различных материалов согласно СП 28.13330.2017: *Alternaria alternata*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Chaetomium globosum*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium oxalicum* и *Trichoderma viride*. Доминирующий вид на данном объекте — *A. niger* с частотой встречаемости 80. Виды микромицетов *A. alternata*, *Fusarium sporotrichiella* и *Penicillium aurantiogriseum* отнесены к часто встречающимся видам с частотой встречае-

мости — 30. Остальные виды охарактеризовали как редкие с частотой встречаемости менее 20.

Отбор биоцидных препаратов проводили диско-диффузионным методом, который технологически прост и дает хорошо воспроизводимые результаты. В качестве тест-культур использовали агрессивные и очень агрессивные штаммы микромицетов, выделенные из зараженных материалов кирпичной кладки и облицовки.

Тестирование биоцидных препаратов показало полное отсутствие развития микромицетов в чашках

Табл. 2. Таксономическая структура микобиоты строительных материалов

Table 2. Taxonomic structure of the mycobiota isolated from construction materials

Класс Classis	Порядок Ordo	Семейство Familia	Род Genus
<i>Mucoromycota</i>			
<i>Mucoromycetes</i>	<i>Mucorales</i>	<i>Mucoraceae</i>	<i>Mucor</i>
			<i>Backusella</i>
		<i>Rhizopodaceae</i>	<i>Rhizopus</i>
<i>Ascomycota</i>			
<i>Dothideomycetes</i>	<i>Pleosporales</i>	<i>Pleosporaceae</i>	<i>Alternaria</i>
<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Aspergillaceae</i>	<i>Aspergillus</i>
			<i>Penicillium</i>
			<i>Talaromyces</i>
<i>Sordariomycetes</i>	<i>Hypocreales</i>	<i>Hypocreaceae</i>	<i>Acremonium</i>
			<i>Sarocladium</i>
			<i>Trichoderma</i>
		<i>Nectriaceae</i>	<i>Fusarium</i>
	<i>Sordariales</i>	<i>Chaetomiaceae</i>	<i>Chaetomium</i>

Петри с бумажными дисками, обработанными препаратами Neomid 440 Eco и Rocima 243. Диффузия в агаризованную среду препаратов Rocima GT, Санатекс Универсал и Macrosept происходила в меньшей степени, и следовательно, зона ингибирования роста менее выражена: от 15 до 25 мм (табл. 3). Средство от плесени Neomid Home Series не оказало никакого ингибирующего действия на развитие грибов: зона ингибирования отсутствовала, наблюдался рост на всей поверхности бумажного образца. Контрольные образцы без обработки антисептиком также покрыты спороносящим мицелием грибов, и зона задержки их роста отсутствовала.

Таким образом, диско-диффузионный метод дал возможность отобрать пять биоцидных препаратов, обладающих биоцидным действием по отношению к агрессивным и очень агрессивным микроцистам-биодеструкторам для последующего тестирования эффективности: Санатекс Универсал, Macrosept, Rocima GT, Rocima 243 и Neomid 440 Eco. Для продолжения испытаний были выбраны образцы кирпича (№ 5, табл. 1) и обшивки (№ 10, табл. 1), отобранные на участках с твердыми налетами и содержащие максимальное количество микроцистов. Образцы обрабатывали растворами биоцидов при помощи распылителя, высушивали,

Табл. 3. Определение эффективности биоцидов по отношению к агрессивным биодеструкторам

Table 3. Identification of the biocide efficacy against aggressive biodestructors

Название препарата Biocide	Концентрация препарата, % Biocide concentration, %	Усредненное значение зоны ингибирования роста грибов, мм The average value of the fungal growth zone inhibition, mm
Санатекс Универсал Sanatex Universal	100	25
Macrosept	100	15
Rocima GT	20	20
Rocima 243	10	35
Neomid 440 Eco	10	35
Концентрат Neomid Home Series 1:1 (ООО «Неохим») Concentrate Neomid Home Series 1:1	50	0
Контроль Control	—	0

Табл. 4. Количество микроорганизмов в строительных материалах после обработки их биоцидными препаратами

Table 4. The number microorganisms in construction materials after the biocide treatment

Название препарата Biocide	Материал Material			
	Кирпич (№ 5, табл. 1) Brick (No. 5, table 1)		Обшивка (№ 10, табл. 1) Sheathing (No. 10, table 1)	
	Количество бактерий, КОЕ/г Number of bacteria, CFU/g	Количество грибов КОЕ/г, Number of fungi, CFU/g	Количество бактерий, КОЕ/г Number of bacteria, CFU/g	Количество грибов, КОЕ/г, Number of fungi, CFU/g
Санатекс Универсал Sanatex Universal	$4,0 \cdot 10^2$	700	$4,1 \cdot 10^4$	800
Macrosept	$8,8 \cdot 10^4$	0	$7,1 \cdot 10^4$	200
Rocima GT	$1,0 \cdot 10^7$	0	$1,7 \cdot 10^6$	0
Rocima 243	$1,0 \cdot 10^7$	0	$1,3 \cdot 10^5$	400
Neomid 440 Eco	$1,0 \cdot 10^7$	0	$1,4 \cdot 10^6$	0

после чего определяли содержание микроорганизмов в обработанных образцах по методу Коха.

Использование биоцидов в большинстве случаев приводило либо к полному элиминированию присутствующих в материалах микромицетов (при использовании препаратов Neomid 440 Есо и Rocima GT), либо к снижению их количества ниже минимально допустимой нормы в 1000 КОЕ/г (табл. 4). В то же время после обработки всеми испытываемыми биоцидами из образцов обоих строительных материалов выделены бактерии в количестве от $4,0 \cdot 10^2$ до $1,0 \cdot 10^7$ КОЕ/г (табл. 4), что в некоторых случаях превышало начальное количество бактерий. Подобный результат можно объяснить развитием бактерий в отсутствие микромицетов, подавленных действием биоцидов, обладающих только фунгицидным действием.

Выделенный из образцов кирпича и наружной обшивки здания вид *Aspergillus niger* обладал устойчивостью к препаратам Санатекс Универсал и Rocima 243, вид *Aspergillus flavus* устойчив к препарату Санатекс Универсал, вид *Chaetomium globosum* обладал устойчивостью к препарату Macrosept.

На заключительном этапе оценивали эффективность работы препаратов Санатекс Универсал, Macrosept, Rocima GT, Rocima 243 и Neomid 440 Есо на локальных поверхностях поврежденных ограждающих конструкций с отслоением краски, осыпанием штукатурки и наличием налетов предположительно

биологического происхождения. Стены обрабатывали согласно указаниям СП 28.13330.2017, распыляя биоцид на поверхность, высушивали и отбирали пробы при помощи бакпечаток и высевом суспензии по методу Коха. Количество микроорганизмов на поверхности стены после обработки антисептиками значительно снизилось и не превышало нормативных значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из образцов строительных материалов (кирпича и отделочных материалов) выделены микроскопические грибы, некоторые из них относятся к категориям «агрессивные» и «очень агрессивные» биодеструкторы: *Alternaria alternata*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Chaetomium globosum*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium oxalicum* и *Trichoderma viride*. Наиболее устойчивыми к биоцидным препаратам оказались виды *A. flavus*, *A. niger*, *Ch. globosum*.

В результате испытаний для дезинфекционной обработки поврежденных строительных материалов подобраны эффективные антисептики по отношению к микромицетам, выделенным с обследуемого объекта: Санатекс Универсал и Macrosept в концентрации 100 %, Rocima GT в 20%-ной концентрации и препараты Rocima 243 и Neomid 440 Есо в концентрации 10 %.

При обработке объектов следует обратить внимание на то, что ни один из исследуемых антисептиков не подавлял бактериальный рост.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. You S., Li W., Ye T., Hu F., Zheng W. Study on moisture condensation on the interior surface of buildings in high humidity climate // Building and Environment. 2017. Vol. 125. Pp. 39–48. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.08.041
2. Lee H.H., Oh H.R., Lim J.H., Song S.Y. Evaluation of the thermal environment for condensation and mold problem diagnosis around built-in furniture in Korean apartment buildings during summer and winter // Energy Procedia. 2016. Vol. 96. Pp. 601–612. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.108
3. Улыбин А.В., Старцев С.А., Зубков С.В. Контроль влажности при обследовании каменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 7 (42). С. 32–39. DOI: 10.5862/MCE.42.5
4. Gámez E., Bellotti N., Deya C., Cabello M. Mycological studies as a tool to improve the control of building materials biodeterioration // Journal of Building Engineering. 2020. Vol. 32. DOI: 10.1016/j.job.2020.101738
5. Sequeira S.O., Coutinho M.L., Lima J.C., Phillips A.J.L., Macedo M.F., Cabrita E.J. 4-MUF-NAG for fungal biomass determination: scope and limitations in the context of biodeterioration studies // Journal of Cultural Heritage. 2016. Vol. 22. Pp. 992–998. DOI: 10.1016/j.culher.2016.06.002
6. Guerra F.L., Lopes W., Cazarolli J., Lobato M., Masuero A.B., Dal Molin D.D. et al. Biodeterioration of mortar coating in historical buildings: Microclimatic characterization, material, and fungal community // Building and Environment. 2019. Vol. 155. Pp. 195–209. DOI: 10.1016/J.BUILDENV.2019.03.017
7. Nielsen K.F., Holm G., Uttrup L. P., Nielsen P.A. Mould growth on building materials under low water activities. Influence of humidity and temperature on fungal growth and secondary metabolism // International Biodeterioration & Biodegradation. 2004. Vol. 54. Issue 4. Pp. 325–336. DOI: 10.1016/j.ibiod.2004.05.002
8. Udawattha C., Galkanda H., Ariyaratne I.S., Jayasinghe G.Y., Halwatura R. Mold growth and moss growth on tropical walls // Building and Environment. 2018. Vol. 137. Pp. 268–279. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.04.018
9. Stefanowski B.K., Curling S.F., Ormondroyd G.A. A rapid screening method to determine the susceptibility of bio-based construction and insulation products to mould growth // International Biodeteriora-

tion & Biodegradation. 2017. Vol. 116. Pp. 124–132. DOI: 10.1016/j.ibiod.2016.10.025

10. Cuzman O.A., Tapete D., Fratini F., Mazzei B., Riminesi C., Tiano P. Assessing and facing the biodegradation presence developed in the Roman Catacombs of Santi Marco, Marcelliano e Damaso, Italy // *European Journal of Science and Theology*. 2014. Vol. 10. Issue 3. Pp. 185–197.

11. Li T., Hu Y., Zhang B. Evaluation of efficiency of six biocides against microorganisms commonly found on Feilafeng Limestone, China // *Journal of Cultural Heritage*. 2019. Vol. 43. Pp. 45–50. DOI: 10.1016/j.culher.2019.11.006

12. Favero-Longo S.E., Brigadeci F., Segimiro A., Voyron S., Cardinali M., Girlanda M. et al. Biocide efficacy and consolidant effect on the mycoflora of historical stuccos in indoor environment // *Journal of Cultural Heritage*. 2018. Vol. 34. Pp. 33–42. DOI: 10.1016/j.culher.2018.03.017

13. Pfendler S., Borderiea F., Boustab F., Alaou-Sossea L., Alaoui-Sossea B., Aleyaa L. Comparison of biocides, allelopathic substances and UV-C as treatments for biofilm proliferation on heritage monuments // *Journal of Cultural Heritage*. 2018. Vol. 33. Pp. 117–124. DOI: 10.1016/j.culher.2018.03.016

14. Попихина Е., Хазова С. Инструкция по отбору микробиологических проб с поверхностей в хранилищах // *Лабораторные методики и техноло-*

гические инструкции по практической консервации документов. 2019. С. 73–79.

15. Егорова Л.Н. Почвенные грибы Дальнего Востока: Гифомицеты. Л. : Наука, 1986. 191 с.

16. Литвинов М.А. Определитель микроскопических почвенных грибов: (порядок Moniliales, за исключением подсемейства Aspergillaceae). Л. : Наука, 1967. 304 с.

17. Raper K.B., Thom C. A manual of the Penicillia. Baltimore : The Williams & Wilkins Company, 1949.

18. Rifai M.A. A revision of the genus Trichoderma // *Mycological Papers*. 1969. Vol. 116. Pp. 1–56.

19. Thom C., Raper K.B. A manual of the Aspergilli. Baltimore : The Williams & Wilkins Company, 1945.

20. Domsch K.H., Gams W., Anderson T.H. Compendium of soil fungi, 2nd. taxonomically revised edition by W. Gams. Eching : IHW-Verlag, 2007. 627 p.

21. Maienfisch P., Edmunds A.J.F. Thiazole and Isothiazole Ring-Containing Compounds in Crop Protection // *Advances in Heterocyclic Chemistry*. 2017. Vol. 121. Pp. 35–88. DOI: 10.1016/bs.aihch.2016.04.010

22. Ram V.J., Sethi A., Nath M., Pratap R. The Chemistry of Heterocycles. Elsevier ; Amsterdam, 2019. DOI: 10.1016/C2015-0-05990-1

23. Поздеев О.К. Медицинская микробиология : учеб. для студ. мед. вузов. М. : ГЭОТАР Медицина, 1998. 764 с.

Поступила в редакцию 9 февраля 2022 г.

Принята в доработанном виде 26 февраля 2022 г.

Одобрена для публикации 26 февраля 2022 г.

Об авторах: **Елена Анатольевна Попихина** — ведущий специалист по обеспечению сохранности документов НИЛ Федерального центра консервации библиотечных фондов; **Российская национальная библиотека (РНБ)**; 191069, г. Санкт-Петербург, ул. Садовая, д. 18; РИНЦ ID: 903424; ropikhina@mail.ru;

Екатерина Сергеевна Трепова — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник НИЛ Федерального центра консервации библиотечных фондов; **Российская национальная библиотека (РНБ)**; 191069, г. Санкт-Петербург, ул. Садовая, д. 18; РИНЦ ID: 903430; k.trepova@gmail.com;

Светлана Сергеевна Хазова — научный сотрудник НИЛ Федерального центра консервации библиотечных фондов; **Российская национальная библиотека (РНБ)**; 191069, г. Санкт-Петербург, ул. Садовая, д. 18; РИНЦ ID: 903388; seti_77@mail.ru.

Вклад авторов:

Попихина Е.А. — концепция исследования, сбор и обработка материала, написание статьи, итоговые выводы.

Трепова Е.С. — концепция исследования, сбор и обработка материала, написание статьи, итоговые выводы.

Хазова С.С. — концепция исследования, сбор и обработка материала, написание статьи, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. You S., Li W., Ye T., Hu F., Zheng W. Study on moisture condensation on the interior surface of buildings in high humidity climate. *Building and Environment*. 2017; 125:39-48. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.08.041

2. Lee H.H., Oh H.R., Lim J.H., Song S.Y. Evaluation of the thermal environment for condensation and mold problem diagnosis around built-in furniture in Korean apartment buildings during summer and winter. *Energy Procedia*. 2016; 96:601-612. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.108

3. Ulybin A.V., Startsev S.A., Zubkov S.V. Humidity control in the inspection of masonry structures. *Magazine of Civil Engineering*. 2013; 7(42):32-39. DOI: 10.5862/MCE.42.5 (rus.).

4. Gámez E., Bellotti N., Deya C., Cabello M. Mycological studies as a tool to improve the control of building materials biodeterioration. *Journal of Building Engineering*. 2020; 32. DOI: 10.1016/j.jobee.2020.101738

5. Sequeira S.O., Coutinho M.L., Lima J.C., Phillips A.J.L., Macedo M.F., Cabrita E.J. 4-MUF-NAG for fungal biomass determination: scope and limitations in the context of biodeterioration studies. *Journal of Cultural Heritage*. 2016; 22:992-998. DOI: 10.1016/j.culher.2016.06.002

6. Guerra F.L., Lopes W., Cazarolli J., Lobato M., Masuero A.B., Dal Molin D.D. et al. Biodeterioration of mortar coating in historical buildings: Microclimatic characterization, material, and fungal community. *Building and Environment*. 2019; 155:195-209. DOI: 10.1016/J.BUILDENV.2019.03.017

7. Nielsen K.F., Holm G., Uttrup L.P., Nielsen P.A. Mould growth on building materials under low water activities. Influence of humidity and temperature on fungal growth and secondary metabolism. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2004; 54(4):325-336. DOI: 10.1016/j.ibiod.2004.05.002

8. Udawattha C., Galkanda H., Ariyaratne I.S., Jayasinghe G.Y., Halwatura R. Mold growth and moss growth on tropical walls. *Building and Environment*. 2018; 137:268-279. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.04.018

9. Stefanowski B.K., Curling S.F., Ormondroyd G.A. A rapid screening method to determine the susceptibility of bio-based construction and insulation products to mould growth. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2017; 116:124-132. DOI: 10.1016/j.ibiod.2016.10.025

10. Cuzman O.A., Tapete D., Fratini F., Mazzei B., Riminesi C., Tiano P. Assessing and facing the biodeteriogenic presence developed in the Roman Catacombs of Santi Marco, Marcelliano e Damaso, Italy. *European Journal of Science and Theology*. 2014; 10(3):185-197.

11. Li T., Hu Y., Zhang B. Evaluation of efficiency of six biocides against microorganisms com-

monly found on Feilailfeng Limestone, China. *Journal of Cultural Heritage*. 2019; 43:45-50. DOI: 10.1016/j.culher.2019.11.006

12. Favero-Longo S.E., Brigadeci F., Segimiro A., Voyron S., Cardinali M., Girlanda M. et al. Biocide efficacy and consolidant effect on the mycoflora of historical stuccos in indoor environment. *Journal of Cultural Heritage*. 2018; 34:33-42. DOI: 10.1016/j.culher.2018.03.017

13. Pfendlera S., Borderiea F., Boustap F., Alaou-Sossea L., Alaoui-Sossea B., Aleyaa L. Comparison of biocides, allelopathic substances and UV-C as treatments for biofilm proliferation on heritage monuments. *Journal of Cultural Heritage*. 2018; 33:117-124. DOI: 10.1016/j.culher.2018.03.016

14. Popikhina E., Khazova S. Instructions for taking microbiological samples from surfaces in storages. *Laboratory methods and technological instructions for the practical conservation of documents*. 2019; 73-79. (rus.).

15. Egorova L.N. *Soil mushrooms of the Far East: Hypomycetes*. Leningrad, Nauka Publ., 1986; 192. (rus.).

16. Litvinov M.A. *Key to microscopic soil fungi: (order Moniliales, excluding subfamily Aspergilleae)*. Leningrad, Nauka Publ., 1967; 303. (rus.).

17. Raper K.B., Thom C. *A manual of the Penicillia*. Baltimore, The Williams & Wilkins Company, 1949.

18. Rifai M.A. A revision of the genus *Trichoderma*. *Mycological Papers*. 1969; 116:1-56.

19. Thom C., Raper K.B. *A manual of the Aspergilli*. Baltimore, The Williams & Wilkins Company, 1945.

20. Domsch K.H., Gams W., Anderson T.H. *Compendium of soil fungi, 2nd. taxonomically revised edition by W. Gams*. Eching, IHW-Verlag, 2007; 627.

21. Maienfisch P., Edmunds A.J.F. Thiazole and isothiazole ring-containing compounds in crop protection. *Advances in Heterocyclic Chemistry*. 2017; 121:35-88. DOI: 10.1016/bs.aihch.2016.04.010

22. Ram V.J., Sethi A., Nath M., Pratap R. *The Chemistry of Heterocycles*. Elsevier; Amsterdam, 2019. DOI: 10.1016/C2015-0-05990-1

23. Pozdeev O.K. *Medical microbiology*. Moscow, GEOTAR Medicine, 1998; 764. (rus.).

Received February 9, 2022.

Adopted in revised form on February 26, 2022.

Approved for publication on February 26, 2022..

Bionotes **Elena A. Popikhina** — Leading Specialist in Document Preservation at the Research Laboratory of the Federal Center for the Conservation of Library Collections; **National library of Russia**; 18 Sadovaya st., St. Petersburg, 191069, Russian Federation; ID RISC: 903424; popikhina@mail.ru;

Ekaterina S. Trepova — Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher in Document Preservation at the Research Laboratory of the Federal Center for the Conservation of Library Collections; **National library of Russia**; 18 Sadovaya st., St. Petersburg, 191069, Russian Federation; ID RISC: 903430; k.trepova@gmail.com;

Svetlana S. Khazova — Researcher in Document Preservation at the Research Laboratory of the Federal Center for the Conservation of Library Collections; **National library of Russia**; 18 Sadovaya st., St. Petersburg, 191069, Russian Federation; ID RISC: 903388; Seti_77@mail.ru.

*Contribution of the authors:**Popikhina E.A. — research concept, collection and processing of material, article writing, final conclusions.**Trepova E.S. — research concept, collection and processing of material, article writing, final conclusions.**Khazova S.S. — research concept, collection and processing of material, article writing, final conclusions.**The authors declare no conflicts of interest.*

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

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.157

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.188-204

Геотехническое моделирование взаимодействия крупногабаритного опускного колодца с неоднородной грунтовой средой при погружении

Николай Алексеевич Перминов

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
(ПГУПС); г. Санкт-Петербург, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Освоение гипербольших по глубине и объему подземных пространств в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях является сложной геотехнической задачей. Существующий опыт использования в этих целях опускного способа для создания одновременно гео- и гидротехнического ограждения и надежной несущей конструкции показал большие технико-экономические возможности и перспективы расширения области применения. Изучение закономерностей взаимодействия крупногабаритных железобетонных оболочек на стадиях их возведения в неоднородных грунтовых средах позволило существенно расширить область их рационального использования в подземном строительстве для объектов транспортной и инженерной инфраструктуры. Для бездефектного возведения подземного сооружения такого типа требуется совместное решение сложных нелинейных конструкторских и геотехнических задач.

Материалы и методы. Нестационарность процессов взаимодействия массивного сооружения с грунтовой средой, а также неоднородность самой среды вызывают необходимость создания методов адаптивного управления напряженно-деформированным состоянием (НДС) системы «гравитационное крупногабаритное тело — неоднородная вмещающая среда». Посредством совместного выполнения геотехнических и конструкторских расчетов моделируются процессы взаимодействия оболочки с грунтовой средой и прогнозируются параметры адаптивного управления НДС системы.

Результаты. Применение методов адаптивного управления НДС обеспечивает условия для бездефектного жизненного цикла (ЖЦ) сооружения на стадиях его возведения и эксплуатации в сложных грунтовых условиях при техногенных воздействиях.

Выводы. В отличие от традиционного подхода предлагаются основы новой концепции по оценке взаимодействия крупногабаритных опускных сооружений в разнопрочные грунты с учетом нестационарности режима погружения и результаты ее практической реализации по геотехническому обеспечению бездефектного ЖЦ уникальных крупногабаритных подземных сооружений на стадии строительства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: крупногабаритный опускной колодец, моделирование, нестационарное взаимодействие, крупногабаритное опускное сооружение, разнопрочные грунты, регулирование напряженно-деформированного состояния

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Перминов Н.А. Геотехническое моделирование взаимодействия крупногабаритного опускного колодца с неоднородной грунтовой средой при погружении // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 2. С. 188–204. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.188-204

Автор, ответственный за переписку: Николай Алексеевич Перминов, perminov-n@mail.ru.

The geotechnical modeling of interaction between a large-sized lowered structure and heterogeneous soil environment in the process of embedment

Nikolay A. Perminov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS); St. Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The use of extremely deep and large underground spaces in case of complex geoengineering and hydrogeological conditions is a challenging geotechnical task. The accumulated experience of using the embedment method, that entails the construction of a geotechnical and hydrotechnical enclosure, which is at the same time a reliable bearing structure, has proven a strong technical and economic potential and good prospects for expanding the scope of its application.

The study of interaction between large-sized reinforced concrete shells at the stages of their construction in heterogeneous soil environments allowed expanding the scope of their rational use in the subterranean construction that deals with transport and engineering infrastructure facilities. The defect-free construction of a subterranean structure of this type requires a consolidated solution for complex nonlinear design and geotechnical problems.

Materials and methods. The non-stationarity of processes of interaction between a massive structure and the soil environment, as well as the heterogeneity of the environment itself necessitate the development of methods of adaptive control over the stress-strain state of the system that encompasses "a large gravitational body and the heterogeneous environment". The consolidated geotechnical and structural analysis allows simulating processes of interaction between the shell and the soil environment and prognosticating the parameters of adaptive control over the stress-strain state of the system.

Results. The application of adaptive stress-strain control methods lays the groundwork for a defect-free lifecycle of a structure at the stages of its construction and operation in problematic soils under man-induced impacts.

Conclusions. Unlike the traditional approach, the method, proposed by the author, encompasses the fundamentals of a new concept for assessing the interaction between large-sized structures, embedded in variable strength soils, taking into account the irregularity of the embedment mode and results of its practical implementation focused on the geotechnical support of a defect-free life cycle of unique large-sized subterranean structures at the construction stage.

KEYWORDS: large-size caisson well, modeling, non-stationary interaction, large-sized embedded structure, variable strength soils, regulation of the stress-strain state

FOR CITATION: Perminov N.A. The geotechnical modeling of interaction between a large-sized lowered structure and heterogeneous soil environment in the process of embedment. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(2):188-204. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.188-204 (rus.).

Corresponding author: Nikolay A. Perminov, perminov-n@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Уникальные подземные сооружения инженерно-транспортных систем крупных городов могут достигать аномально больших размеров с заглублением и диаметром до 70 м и более [1–3]. Данные функционально сложные объекты, относящиеся к I уровню ответственности, возводятся преимущественно опускным способом, и к ним предъявляются повышенные требования по степени конструктивной и экологической безопасности [4, 5].

При такой глубине погружения ограждающая крупногабаритная оболочка, пересекая несколько водоносных горизонтов, должна отвечать сплошности и целостности конструкции как в процессе строительства, так и на весь период длительной эксплуатации.

В действующих сводах правил (СП 22.13330, СП 43.13330, СП 248.1325800) предусмотрены проверочные расчеты подземных сооружений, возводимых опускным способом для стадий строительства и эксплуатации. Однако при погружении крупногабаритных опускных сооружений проявляются специфические условия взаимодействия их с грунтовым массивом: в силу включения в работу эффекта (фактора) масштабности (по гиперразмерам площади боковой поверхности оболочки, взаимодействующей с разнородным грунтом $S = 14\,500\text{ м}^2$), и супер-большая масса $G = 1,2 \cdot 10^6\text{ кН}$, создающая мощный кинетический импульс при мгновенных, чаще всего внезапных, посадках опускного сооружения. Совместное проявление этих факторов и обуславливает специфическое, нелинейное поведение конструкции при погружении и вмещающего ее грунтового массива. Прочность и деформативность крупногабаритной массивной конструкции, ее геометрическую изменчивость необходимо рассчитывать не только на конечную стадию строительства, а на всю историю погружения с учетом истории процесса взаимодействия оболочки с грунтовым массивом при погружении,

а следовательно, эффекта поэтапного наследования напряженно-деформированного состояния (НДС). Это возможно выполнить только с помощью решения нелинейных задач, нелинейных моделей и компьютерного нелинейного моделирования.

Представленный в статье анализ опытно-экспериментальных результатов показал, что основные дефекты, приводящие к нарушению целостности оболочки и трещинообразованию, возникали в период возведения подземной части в грунтовой массе. Таким образом, основная задача сводится к обеспечению работы конструкции в допредельных режимах на стадии ее жизненного цикла (ЖЦ) при возведении. Для возможности реализации этих условий определяющее значение имеет оценка реальной работы конструкций с учетом процесса ее постадийного возведения в грунтовой массе при нелинейных свойствах материалов конструкции и грунта. Учет этих условий позволяет выполнить построение корректной модели истории процесса взаимодействия оболочки при пошаговом ее вмещении в грунтовой массив. Расчетное обоснование диапазона допредельных изменений НДС мегамассивной оболочки при погружении ее в разнородные грунты обеспечит бездефектный ЖЦ подземного сооружения на стадии строительства [6]. Анализ истории процессов нагружения оболочки на стадии ее возведения с учетом эффекта наследования НДС позволяет создать адекватную расчетно-аналитическую модель подземного сооружения и выбрать рациональный метод расчета для прогноза динамики и пространственных границ изменения НДС конструкции железобетонной оболочки, обеспечивая бездефектность конструкции на всех этапах ее погружения.

Предлагаемый в настоящем исследовании методологический подход дает возможность перейти от ранее принятой методики расчета на погружение крупногабаритных подземных сооружений водоотведения, возводимых опускным способом, к кон-

цепции моделирования и прогноза бездефектного ЖЦ на стадии их возведения. Приведенные в работе результаты экспериментально-теоретических исследований убедительно демонстрируют, что моделирование и расчетное обоснование параметров превентивной защиты геотехническими способами подземного сооружения на стадии возведения обеспечат безопасность и устойчивость его к техногенным влияниям на последующих стадиях ЖЦ в течение длительной режимной эксплуатации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

По результатам натурных и расчетно-экспериментальных материалов и данных комплексной системы геотехнического мониторинга (рис. 1) крупногабаритных ($D = 50-60$ м и $H = 55-71$ м) опускных колодцев изучены особенности их взаимодействия с неоднородной грунтовой средой при погружении. Неоднородность грунтовых напластований характеризуется следующим: верхняя толща представлена четвертичными напластованиями до глубины

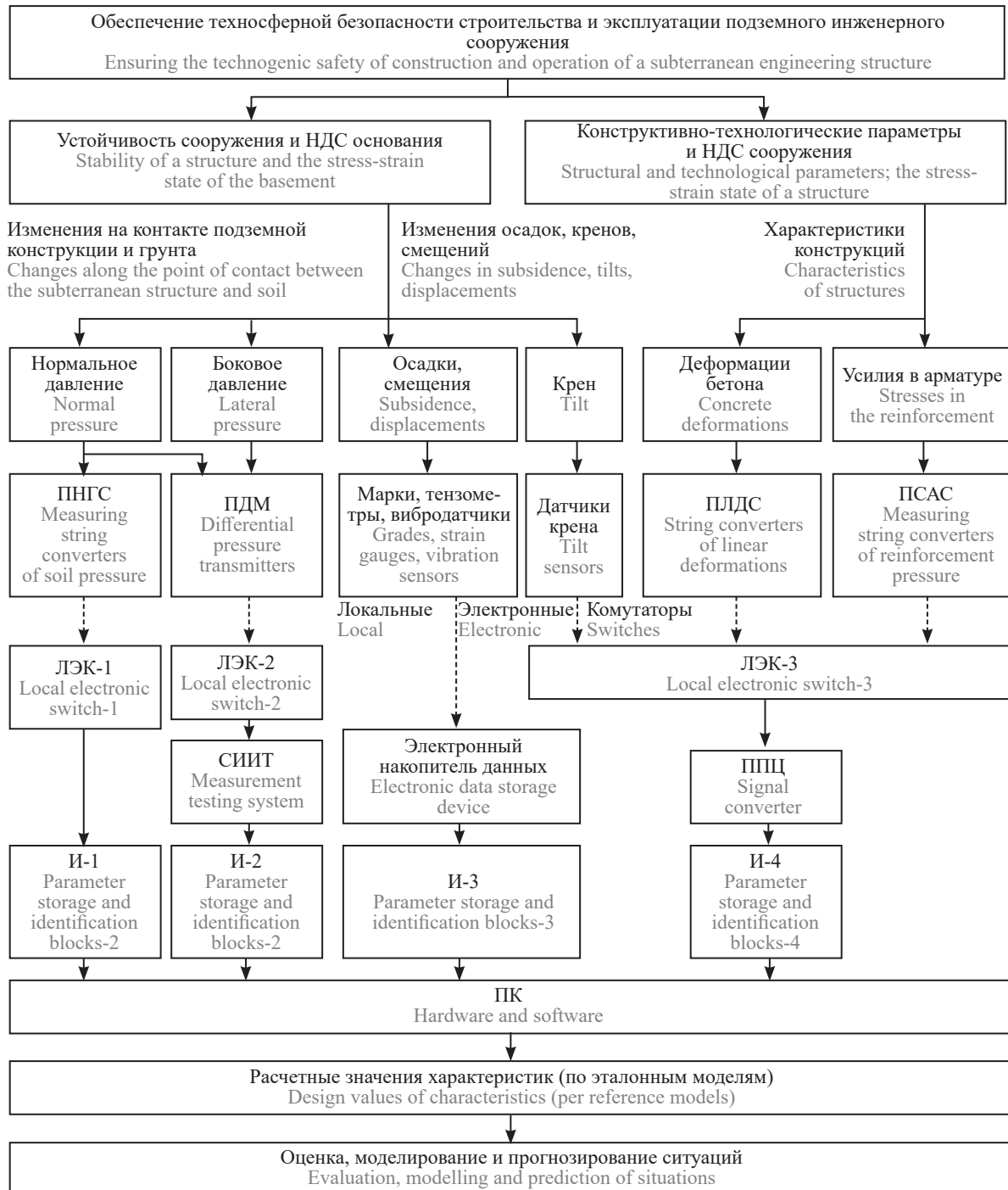


Рис. 1. Комплекс геомониторинга и регулирования процессом погружения крупногабаритных опускных сооружений
Fig. 1. A system for the geomonitoring and regulation of the process of embedment of large-sized structures

14,0–25,0 м (пески пылеватые средней плотности, водонасыщенные, $E = 11$ МПа, $C = 0,005$ МПа, $\varphi = 30^\circ$; супеси пылеватые пластинные, $E = 4$ МПа, $C = 0,01$ МПа, $\varphi = 15^\circ$; суглинки пылеватые слоистые текучепластичные, $E = 9$ МПа, $C = 0,025$ МПа, $\varphi = 16^\circ$; суглинки пылеватые полутвердые с гравием, галькой, $E = 14$ МПа, $C = 0,028$ МПа, $\varphi = 28^\circ$), нижняя — кровлей протерозойских глин дислоцированных твердых ($E = 19$ МПа, $C = 0,04–0,06$ МПа, $\varphi = 18–21^\circ$).

Структура геомониторинга включает: 1) программный комплекс расчетов и НДС геомассива при различных режимах возведения сооружения; 2) технические средства инструментальных наблюдений и контроля напряженно-деформированного состоя-

ния (НДС) изменения отдельных элементов системы «сооружение — геомассив»; 3) информационно-измерительную систему сбора, обработки, хранения и идентификации параметров (данных) наблюдений и контроля; 4) геотехнические методы воздействия на НДС массива, грунта и сооружения.

Мониторингом установлены пиковые значения горизонтальных напряжений в момент «крена», превышающие расчетные значения более чем в 2,5 раза [6]. Это может вызывать появление микротрещин в бетоне конструкции, что неизбежно повлечет нарушение гидроизоляции сооружения. Последствия указанного обстоятельства отмечались после 15–20-летней эксплуатации опускных сооружений неизбежным нарушением их герметичности (рис. 2).

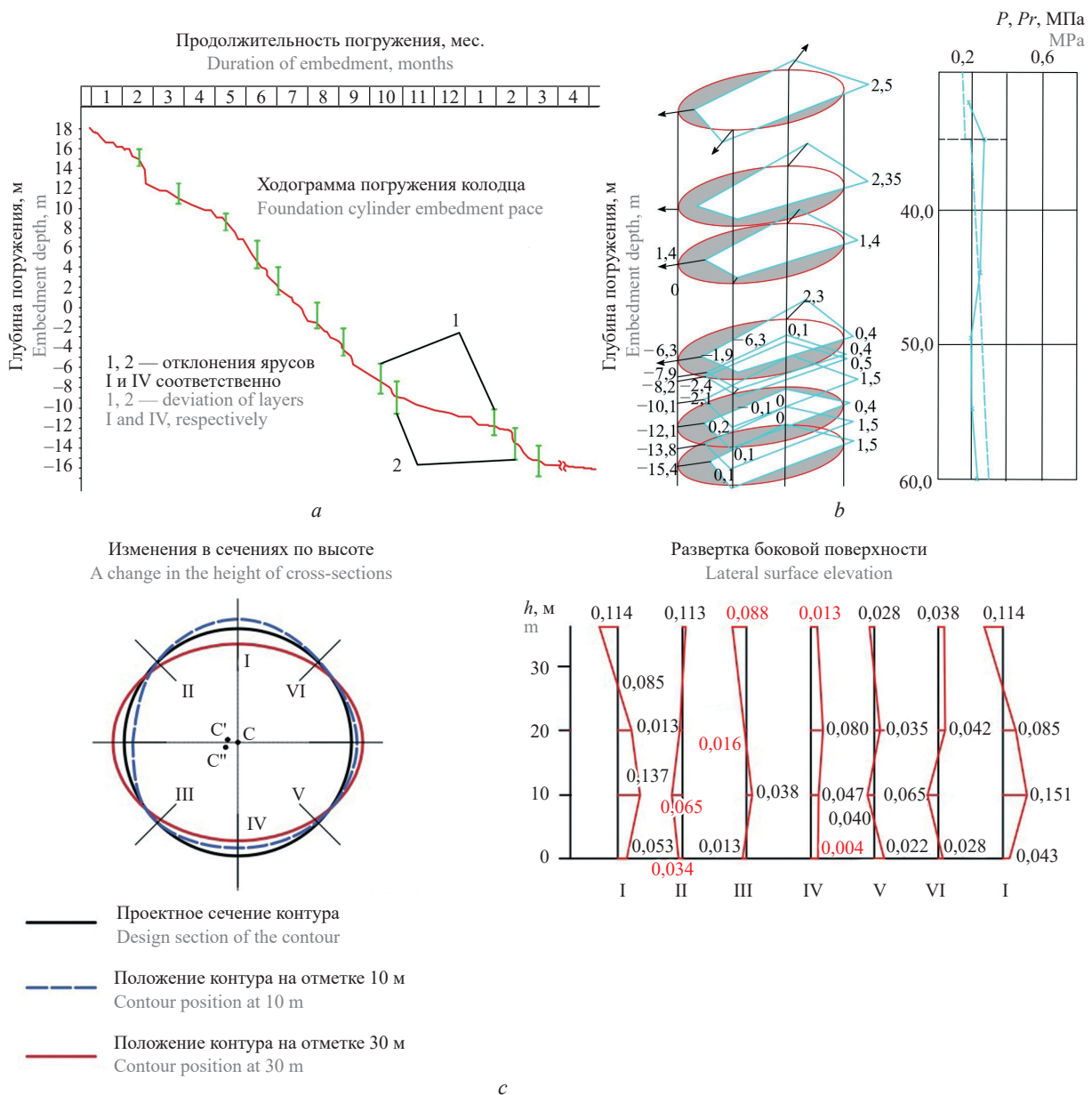


Рис. 2. Этапы погружения и мониторинг НДС крупногабаритного опускного колодца: а — ходограмма погружения; б, в — объемная эпюра смещений оболочки колодца и НДС оболочки

Fig. 2. Embedment stages and the monitoring of the stress-strain state of a large-sized foundation cylinder: а — embedment pace; б, в — 3D diagram of the cylinder shell displacement and the stress-strain state of the shell

Анализ процесса погружения и НДС крупногабаритной оболочки показал, что на разных этапах погружения проявляется различное, даже знакопеременное, НДС системы «крупногабаритная оболочка — грунтовый массив» и реализуются разные виды давлений (СП 22.13330) грунтовой среды на оболочку, включая давление покоя, активное и пассивное давления (см. рис. 3).

Прочность и деформативность крупногабаритной массивной конструкции, ее геометрическую изменчивость необходимо рассчитывать не только на конечную стадию строительства, а на всю историю погружения с учетом истории процесса взаимодействия оболочки с грунтовым массивом при погружении.

По общей теории [7, 8] давление грунта на стенки колодца в состоянии покоя можно определить из выражения:

$$\sigma_o(z) = \sigma_x(z, u_x)|_{u_x=0} = \lambda_0 \gamma z, \quad (1)$$

где λ_0 — коэффициент бокового давления грунта в состоянии покоя;

γ — удельный вес грунта;

z — расстояние от поверхности грунта до рассматриваемой точки.

При смещениях стены оболочки колодца $>0,005h$ (СП 22.1330 п. 9.21) от грунта на глубине z реализуется активное давление на ограждение σ_a , которое соответствует минимальному значению давления. Пассивное давление σ_p реализуется при значительно больших смещениях стены на грунт ($U_p = 0,01 - 0,02h$) и соответствует максимальному значению давления.

При отсутствии нагрузки на поверхности грунта выражения для определения активного и пассивного давлений имеют вид:

$$\sigma_a(z) = \lambda_a \gamma z - c \lambda_{ac}; \quad (2)$$

$$\sigma_p(z) = \lambda_p \gamma z - c \lambda_{pc}, \quad (3)$$

где λ_a — коэффициент активного давления грунта; λ_{ac} — коэффициент учета влияния связности грунта на активное давление;

λ_p — коэффициент пассивного давления грунта;

λ_{pc} — коэффициент учета влияния связности грунта на пассивное давление;

c — удельное сцепление грунта.

Зависимость эффективного горизонтального давления грунта на удерживающую конструкцию в интервале $u_x \in (u_p, u_a)$ имеет сложный характер (рис. 4) [9–11].

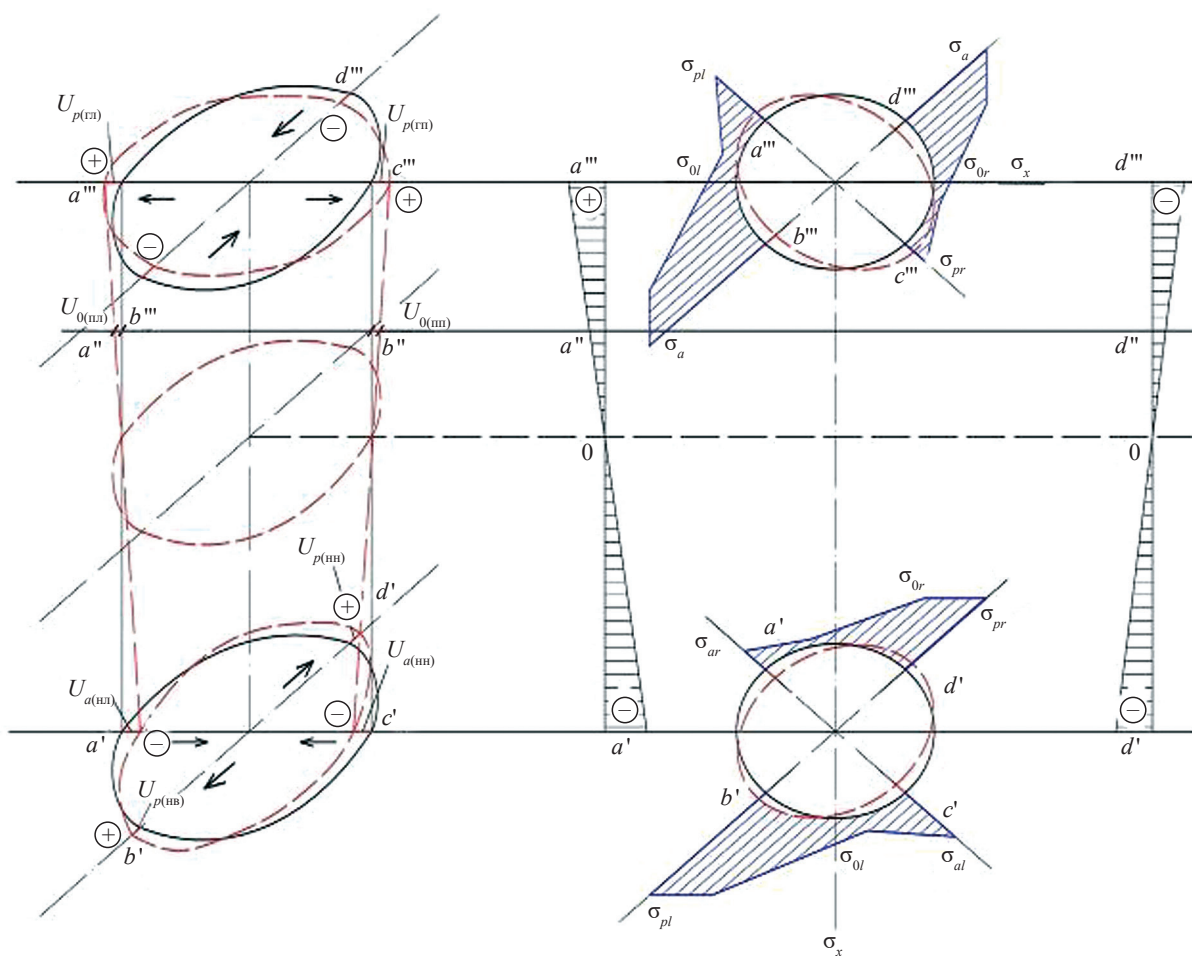


Рис. 3. Асимметричная деформация (смещения) оболочки

Fig. 3. Asymmetric deformation (displacement) of the shell

Активное и пассивное давления грунта на ограждение составляют предельные величины давлений, т.е. эффективное давление всегда находится в диапазоне:

$$\sigma_a(z) \leq \sigma_x(z, u_x) \leq \sigma_p(z). \quad (4)$$

На рис. 3 и с учетом рис. 4 представлен характер асимметричных деформаций (смещений) контура оболочки по графику зависимости горизонтальных давлений грунта на стены колодца в зависимости от ее характера перемещения (асимметричные сужения–расширения оболочки в верхней и нижней частях конструкции): 1 — фактическое давление; 2 — диаграмма кусочно-линейной аппроксимации.

Функцию изменения величины давления σ_x на некоторой глубине z от перемещений можно представить следующим образом:

$$\sigma_x(u_x) = \begin{cases} \sigma_p(z), & u_x \leq u_p \\ f(u_x), & u_p < u_x < u_a \\ \sigma_a, & u_a \leq u_x \end{cases} \quad (5)$$

С некоторым допущением:

$$f(u_x) = \sigma_0 - ku_x, \quad (6)$$

$$\sigma_x(z, u_x) = \begin{cases} \sigma_p^l(z) - \sigma_a^r(z - h_k), & u_x \leq u_1 \\ \sigma_0^l(z) - \sigma_a^r(z - h_k) - u_x k^l, & u_1 < u_x < u_2 \\ \sigma_0^l(z) - \sigma_a^r(z - h_k) - u_x(k^l + k^r), & u_2 \leq u_x \leq u_3 \\ \sigma_a^l(z) - \sigma_0^r(z - h_k) - u_x k^r, & u_3 < u_x < u_4 \\ \sigma_a^l(z) - \sigma_p^r(z - h_k), & u_4 \leq u_x \end{cases} \quad (7)$$

Если отдельно рассмотреть результирующие давления на оболочку до грани ($z \leq h_k$), то выражение (7) примет вид:

$$\sigma_x(z, u_x) = \begin{cases} \sigma_p^l(z), & u_x \leq u_1 \\ \sigma_0^l(z) - k^l u_x, & u_1 < u_x < u_3 \\ \sigma_a^l(z), & u_3 \leq u_x \end{cases} \quad (8)$$

Подставим выражения (1)–(3) в (7) и (8):

$$\sigma_x(z, u_x) = \begin{cases} \lambda_{pl}\gamma z + c\lambda_{pcl}, & u_x \leq u_1 \\ \lambda_{0l}\gamma z - k_l u_x, & u_1 < u_x < u_3; \\ \lambda_{al}\gamma z + c\lambda_{acl}, & u_3 \leq u_x \end{cases} \quad (9)$$

$$\sigma_x(z, u_x) = \begin{cases} \lambda_{pl}'\gamma z - \lambda_a^r\gamma(z - h_k) + c\lambda_{pc}^l + c\lambda_{ac}^r, & u_x \leq u_1 \\ \lambda_{0l}'\gamma z - \lambda_a^r\gamma(z - h_k) + c\lambda_{ac}^r - u_x k^l, & u_1 < u_x < u_2 \\ \lambda_{0l}'\gamma z - \lambda_a^r\gamma(z - h_k) - u_x(k^l + k^r), & u_2 \leq u_x \leq u_3 \\ \lambda_a^l\gamma z - \lambda_0^r\gamma(z - h_k) - c\lambda_{ac}^l - u_x k^r, & u_3 < u_x < u_4 \\ \lambda_a^l\gamma z - \lambda_p^r\gamma(z - h_k) - c\lambda_{ac}^l - c\lambda_{pc}^r, & u_4 \leq u_x \end{cases} \quad (10)$$

где k — коэффициент жесткости грунта; σ_0 — давление грунта в состоянии покоя.

В качестве коэффициента жесткости грунта можно использовать коэффициент постели грунта.

Результирующим давлением по образующей нижней и верхней участков стены колодца является сумма эффективных давлений на ограждение с обеих его сторон. Представим в виде двух графиков эффективное давление грунта на стену колодца со стороны грунта (слева) и котлована (справа) в зависимости от горизонтального перемещения оболочки колодца (рис. 3).

Построим функцию $\sigma_x(z, u_x)$ в виде кусочно-заданной функции для любого значения z .

С целью описания эффективных давлений $\sigma_x(z, u_x)$ для отдельных участков диаграммы, находящихся в интервалах между предельными активными $\sigma_a(z) = \lambda_a\gamma z - c\lambda_{ac}$ и пассивными $\sigma_p(z) = \lambda_p\gamma z + c\lambda_{pc}$ давлениями вместо a, b, c, d будем использовать 1, 2, 3, 4, добавляя индексы l, r для слагаемых, относящихся к оси сужения и расширения диаметра колодца. В случае, когда ножевая часть стены колодца с обеих сторон окружена грунтовым массивом, $\sigma_x(z, u_x)$ примет вид:

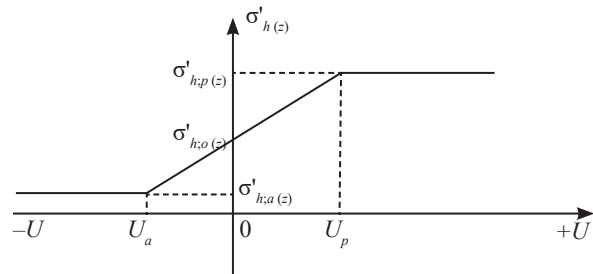


Рис. 4. Зависимость бокового давления грунта на оболочку от смещений $u_x \in (u_p, u_a)$ в соответствии с п. 9.21 СП 22.13330

Fig. 4. Dependence between the lateral soil pressure on the shell and displacements $u_x \in (u_p, u_a)$ pursuant to paragraph 9.21 SP 22.13330

Анализ формул (9) и (10), характеризующих результирующие давления, показывает, что практически независимо от свойств вмещающего массива грунта, сумма эффективных давлений на оболочку, имеющую асимметричную деформацию (рис. 3) как в противоположных осевых направлениях, так и в нижней, и верхней частях оболочки, проявляет

высокую степень неравномерности. Как показывают сопоставительные расчеты, неравномерность результирующих давлений может достигать одного порядка единиц (см. рис. 5) и более [12] обеих его сторон и по образующим нижних и верхних участков стен колодца. Прогнозировать такой характер НДС системы «опускное сооружение – грунтовый

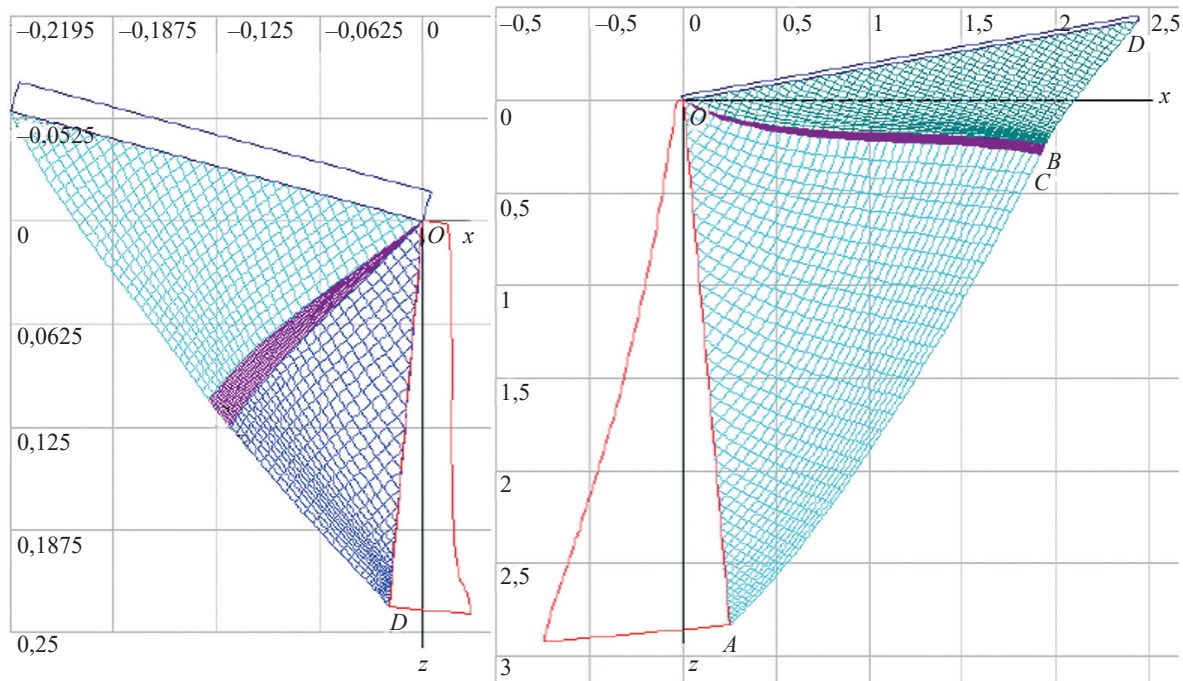


Рис. 5. Линии скольжения при активном и пассивном давлениях на подпорную стенку (по К.В. Королеву) $10Ea \ll Ep$
 Fig. 5. Slide lines in cases of active and passive pressures on the retaining wall (authored by K.V. Korolev) $10Ea \ll Ep$

массив», используя рекомендуемый расчетный подход [13, 14], не представляется возможным, обеспечить вертикальность и равномерность погружения, применяя ранее известные методы геотехнологии [15], достаточно сложно, о чем свидетельствуют ходограммы (см. рис. 2, а).

Анализ условий взаимодействия массивной крупногабаритной оболочки с грунтовым массивом при погружении в неоднородные напластования свидетельствует о проявлении эффектов нестационарности в параметрах, отражающих этот процесс. Для возможности изучения закономерностей проявления и условий недопущения их запредельного развития в дальнейших наших исследованиях необходимо воспользоваться моделированием режимов погружения оболочки, решая для этого задачи в линейной и нелинейной постановках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Численное моделирование процесса исправления крена массивного заглубленного сооружения

В инженерной практике известно, что при возведении опускных колодцев большого диаметра ча-

сто возникают проблемы, связанные с отклонением сооружения от проектного положения. Причинами неравномерного погружения колодца, как было установлено, являются особенности взаимодействия крупногабаритной оболочки с неоднородной грунтовой средой на стадии ее погружения и нестационарный характер НДС системы «крупногабаритная опускная оболочка – вмещающий грунтовой массив».

Путем численных геотехнических расчетов предлагается выбирать технически возможные геотехнологические методы для управления процессом погружения: изменение НДС геомассива в основании сооружения и по боковой поверхности, например, методами предварительного напряжения грунтового массива; устройство нагружающих лидерных экранов; регулирование сопротивления грунта по боковой поверхности и др.

С целью оценки эффективности геотехнических мероприятий для исправления крена было выполнено несколько серий расчетов НДС грунтового массива с заглубленным сооружением. В первоначальной серии расчетов грунтовой основой моделировалось линейно-деформируемой средой. В последующих сериях — нелинейно-деформируемым материалом.

В качестве линейной среды использовалась модель со связью между напряжениями и деформациями по Гуку. Для моделирования нелинейного материала применялась инкрементальная модель, основанная на обобщенном законе Гука [16, 17]. Связи между приращениями напряжений и деформаций приняты раздельно по девиаторной и шаровой составляющим тензора напряжений.

Описание нелинейной модели грунта

В качестве расчетной модели грунта для решения нелинейной задачи использовалась инкрементальная модель деформационного типа. Связь между напряжениями и деформациями в модели принята раздельно для объемной и сдвиговой составляющих тензора напряжений

$$\begin{cases} dS_{ij} = 2G^{\delta} de_{ij} \\ d\delta_{cp} = 3K^{\delta} d\epsilon_{cp} \end{cases}, \quad (11)$$

где dS_{ij} — приращение девиаторной составляющей тензора напряжений;

de_{ij} — приращение девиаторной составляющей тензора деформаций;

$d\delta_{cp}$ — приращение среднего напряжения;

$d\epsilon_{cp}$ — приращение средней деформации;

K^{δ} — дифференциальный модуль деформации объема;

G^{δ} — дифференциальный модуль деформации сдвига. Математическая аппроксимация девиаторного нагружения принята в виде линейного полинома двух переменных при условии:

- нагружения по девиаторной составляющей тензора напряжения

$$G_H^{\delta} = A_0 + A_1 \delta_{cp} + A_2 \tau_i; \quad (12)$$

- разгрузки по девиаторной составляющей тензора напряжений

$$G_P^{\delta} = A_0 + A_1 \delta_{cp}. \quad (13)$$

Аппроксимация дифференциального модуля деформации объема при условии нагружения по шаровой составляющей тензора напряжений осуществляется степенным полиномом второго порядка:

$$K_H^{\delta} = B_0 + B_1 \delta_{cp} + B_2 \delta_{cp}^2 \quad (14)$$

при «разгрузке» $K_P = \text{const}$,

где τ_i — интенсивность касательных напряжений;

δ_{cp} — среднее напряжение;

$A_0, A_1, A_2, K_P, B_0, B_1, B_2$ — расчетные параметры модели.

Алгоритм решения нелинейной задачи

1. Вычисление девиаторной и шаровой составляющих тензора напряжений, соответствующих предыдущему шагу решения ($j-1$)

$$\begin{cases} \tau_i^{j-1} = \tau_i(\delta_{cp}^{j-1}) \\ \delta_{cp}^{j-1} = \delta_{cp}(\delta_{ij}^{j-1}) \end{cases}. \quad (15)$$

2. Вычисление деформационных характеристик, соответствующих НДС и направлению вектора догружения предыдущего ($j-1$) шага:

а) модуль деформации сдвига

$$G_{H(j-1)}^{\delta} = G_H^{\delta}(\tau_i^{(j-1)}; \delta_{cp}^{(j-1)}) \text{ — нагрузка;}$$

$$G_{P(j-1)}^{\delta} = G_P^{\delta}(\delta_{cp}^{(j-1)}) \text{ — разгрузка;}$$

б) модуль деформации объема

$$K_{H(j-1)}^{\delta} = K_H^{\delta}(\delta_{cp}^{(j-1)}) \text{ — нагрузка;}$$

$$K_{P(j-1)}^{\delta} = \text{const} \text{ — разгрузка.}$$

Деформационные характеристики окончательно принимаются по условию нагружения:

$$\text{если } d\tau_i^{j-1} < 0,0, \text{ то } G_{(j-1)}^{\delta} = G_{P(j-1)}^{\delta};$$

$$\text{если } d\tau_i^{j-1} \geq 0,0, \text{ то } G_{(j-1)}^{\delta} = G_{H(j-1)}^{\delta};$$

$$\text{если } d\delta_{cp}^{j-1} < 0,0, \text{ то } K_{(j-1)}^{\delta} = K_{P(j-1)}^{\delta};$$

$$\text{если } d\delta_{cp}^{j-1} \geq 0,0, \text{ то } K_{(j-1)}^{\delta} = K_{H(j-1)}^{\delta}.$$

3. Используя деформационные характеристики, вычисленные в п. 2, находятся девиаторная и объемная составляющие тензора напряжений на j -ом шаге решения:

$$S_{ij}^{(j)} = S_{ij}^{(j-1)} + dS_{ij}^{(j)}. \quad (16)$$

4. Вычисляются полные напряжения на j -ом шаге:

$$\delta_{ij}^j = S_{ij}^{(j)} + \delta_{cp}^{(j)} \delta, \quad (17)$$

где δ — символ Кронекера.

5. Вычисление полных деформаций на j -ом шаге:

$$\epsilon_{ij}^{(j)} = \epsilon_{ij}^{(j-1)} + d\epsilon_{ij}^{(j-1)}. \quad (18)$$

6. Установление нового условия нагружения для следующего ($j+1$) шага решения:

если $\tau_i^{(j)} \geq \tau_i^{(j-1)}$ — нагрузка;

если $\tau_i^{(j)} < \tau_i^{(j-1)}$ — разгрузка;

если $\delta_{cp}^{(j)} \geq \delta_{cp}^{(j-1)}$ — нагрузка;

$\delta_{cp}^{(j)} < \delta_{cp}^{(j-1)}$ — разгрузка.

7. Формирование матрицы связи напряжения и деформаций $[B^j]$, матрицы связи деформаций и перемещений $[D^j]$ и глобальной матрицы жесткости $[K^j]$.

8. Решение системы уравнений метода конечных элементов (КЭ)

$$[K^j] \{dV_{ij}^j\} = \{dF^j\} \quad (19)$$

относительно неизвестного вектора приращений перемещений $\{dV_{ij}^j\}$.

9. Вычисление приращений вектора деформаций i -го шага решения $\{d\epsilon_{ij}\}$ и сохранение его в оперативной памяти.

10. Сохранение текущих значений полных напряжений и деформаций $\epsilon_{ij}^{j-1} = \epsilon_{ij}^j$; а также нового условия нагружения в массиве «истории» нагружения.

11. Переход к следующему шагу решения.

Параметры расчетной модели $A_0, A_1, A_2, K_P, B_0, B_1, B_2$ в формулах (12)–(14) определялись по данным

трехосных испытаний в стабилометре. В качестве испытуемого грунта принят песчаный грунт средней крупности, имеющий плотность $Pd = 1,65 \text{ г/см}^3$ и влажность $W = 10 \%$.

Все расчеты выполнялись численным методом КЭ в программном комплексе PCK&GRAF. Дискретизация расчетной области на конечные элементы, отладка исходной информации, а также графическая обработка результатов вычислений осуществлялись с помощью специальных программных средств к пакету PCK&GRAF. Процедура решения нелинейной задачи сводилась к известному методу переменной жесткости [18, 19], согласно которому матрица жесткости переформировывалась на каждом шаге решения в соответствии с текущим уровнем НДС и ориентации вектора догружения.

В качестве мероприятий по выравниванию крена заглубленного сооружения может быть выбран способ регулирования сопротивления грунта электроосмосом [20] или передача горизонтального давления на грунт, основанный на погружении в массив грунта эластичной оболочки, в которой посредством специальной технологии создается избыточное давление, передающееся через стенки оболочки на грунт [21–23]. Эластичные оболочки помещаются на некоторую глубину вдоль стены заглубленного сооружения с наружной стороны. Затем во внутреннюю полость оболочки передается давление, которое с одной стороны подается на стену сооружения, с другой — на грунт.

Описанная выше задача решена в виде расчетной схемы. Расчетная схема представляет собой грунтовый массив размером 296,0 м (по горизонтали) на 115,0 м (по вертикали). В центральной части схемы расположено жесткое заглубленное сооружение, которое имеет протяженность в плане 50,0 м и заглублено на 45,0 м.

Расчетная схема дискретизирована на 246 четырехугольных изопараметрических элементов [24]. Общее количество узлов составило 282.

Расчетная область представлена двумя группами элементов, имеющих различные деформационные характеристики. Элементы первой группы (жесткое заглубленное сооружение) — упругий материал с модулем упругости $E = 30\,000,0$ МПа и коэффициентом Пуассона $\nu = 0,18$.

Окружающее сооружение пространство состоит из группы линейно-деформируемых элементов № 2 с модулем деформации $E = 30,0$ МПа и коэффициентом Пуассона $\nu = 0,33$.

При решении задачи полагается, что сооружение изначально имеет крен, как это изображено на рис. 6 (слева направо). Для исправления неравномерной осадки с правой стороны сооружения прикладывается дополнительная нагрузка интенсивностью Q на участке длиной $L = 12,5$ м.

Нагрузка Q в решаемых задачах принималась равной 0,3; 0,6 и 0,9 МПа.

Учитывая, что при решении упругой задачи заглубленное сооружение окружено линейно-деформируемой средой, то при действии нагрузки Q с правой стороны опускного колодца будут иметь место растягивающие напряжения, препятствующие перемещению влево. В реальных условиях растягивающие напряжения возникать не будут за счет того, что, во-первых, грунт отделен от внешней стороны колодца тиксотропной рубашкой, во-вторых, упругопластические свойства грунтов препятствуют развитию растягивающих напряжений.

Для устранения указанных модельных недостатков в расчетной сетке предусмотрена узкая прорезь, которая моделируется группой контактных элементов № 3 с низкими деформационными характеристиками, которые препятствуют распространению растягивающих напряжений в окружающей среде. Другими словами, указанная выше третья группа элементов моделирует тиксотропную рубашку, окружающую сооружение.

Основная часть расчетов выполнена на описанной выше сетке КЭ с моделированием грунтового массива линейно-деформируемой средой. Однако учитывая, что грунт является средой с ярко выраженным нелинейным характером деформирования, была решена задача в нелинейной постановке. Сетка КЭ при этом моделируется тремя группами элементов: первая группа является линейной, моделирует жесткое заглубленное сооружение; вторая — нелинейная и моделирует грунтовую среду; третья группа элементов, как и при решении упругой задачи, расположена с правой стороны сооружения, имеет низкие деформационные характеристики и моделирует тиксотропную рубашку. Решение нелинейных задач осуществлялось при трех значениях боковой нагрузки $Q = 0,3; 0,6$ и $0,9$ МПа. В качестве нелинейной модели использовалась инкрементальная модель, описанная выше.

С целью исследования возможности более эффективного применения предлагаемого способа исправления крена произведена дополнительная серия расчетов с учетом некоторой зоны основания, расположенной со стороны минимальной осадки сооружения, которая имеет существенно более низкий модуль деформации. Предполагается, что указанная зона может быть создана искусственным образом, например, разбуриванием или созданием системы щелей. Рассматривались различные варианты по геометрическим размерам зон с пониженным модулем деформации. Обобщенный модуль деформации в разбуренной области принят равным 2,5 МПа. Зона с пониженными деформационными характеристиками принята треугольной формы с увеличением в горизонтальном направлении снизу вверх. Это сделано из соображений создания возможности реализации больших горизонтальных перемещений верхней части сооруже-

ния по сравнению с нижней при действии боковой дополнительной нагрузки Q .

Численное решение геотехнических задач позволило получить следующие результаты. Перемещение контура опускного колодца в сплошной упругой среде при регулировании действия боковой дополнительной нагрузки Q и одновременное регулирование сопротивления грунта по боковой поверхности обеспечили предотвращение кренов при погружении в неоднородные грунты. Перемещения сооружения по данным решениям нелинейной задачи приведены на рис. 6. Наибольшие предотвращенные абсолютных горизонтальных перемещений при нагрузке $Q = 0,9$ МПа следующие:

- первая серия расчетов — 48 см;
- вторая серия расчетов — 67 см;
- третья серия расчетов — 80 см;
- четвертая серия расчетов — 16 см.

Для всех решаемых задач без применения методов геотехнического регулирования наблюдалась неравномерность погружения опускного сооружения: вертикальные перемещения (поднятие (+); опускание (-)) левого и правого контура заглубленного сооружения с соответствующим знаком:

- первая серия расчетов: -3,2 и +27,5 см;
- вторая серия расчетов: -12,5 и +36,4 см;
- третья серия расчетов: -25,7 и +41,1 см;
- четвертая серия расчетов: -3,2 и +15,9 см.

При учете в расчетах зон с пониженным модулем деформации (зона разбухания) горизонтальные перемещения верхней части сооружения увеличились практически в 2 раза.

Сравнение результатов решения задач с различными размерами области разбухания показывает, что при одном и том же E увеличение размеров почти в 2 раза приводит к увеличению перемещений примерно на 15–30 %.

Геометрические размеры и конфигурация зон регулирования НДС выбраны путем анализа данных расчетов по перемещениям (рис. 7, 8). При решении нелинейной задачи (четвертая серия расчетов) получены перемещения, существенно меньшие, чем при решении упругих задач. Этот факт можно объяснить тем, что при решении нелинейной задачи в грунтовой среде, окружающей заглубленное сооружение, реализуется существенная деформационная неоднородность. Модуль деформации при решении нелинейной задачи зависит от напряженного состояния. В связи с этим с глубиной модуль деформации увеличивается. Отметим, что для нелинейного решения отсутствовала зона разбухания, а также не моделировалась тиксотропная рубашка, расположенная вокруг сооружения. Вышеперечисленные факторы привели к меньшим горизонтальным перемещениям при решении нелинейной задачи.

Таблица перемещений угловых точек сооружения
Table of displacements of the corner points of the structure

Номер точки points	$Q = 0,3 \text{ кг/см}^2$ kg/cm^2		$Q = 0,6 \text{ кг/см}^2$ kg/cm^2		$Q = 0,9 \text{ кг/см}^2$ kg/cm^2	
	$U_y, \text{ см}$ cm	$U_z, \text{ см}$ cm	$U_y, \text{ см}$ cm	$U_z, \text{ см}$ cm	$U_y, \text{ см}$ cm	$U_z, \text{ см}$ cm
1	-6,7	9,16	-13,4	18,3	-20,2	27,5
2	-16,0	9,17	-32,0	18,3	-48,0	27,5
3	-6,7	-1,08	-13,3	-2,1	-20,0	-3,2
4	-16,0	-1,06	-31,90	-2,1	-47,8	-3,2

$E = 30 \text{ МПа} / \text{MPa}$
 $\nu = 0,33$

Перемещения сооружения в управляемом режиме погружения
Displacements of a structure in the controlled embedment mode

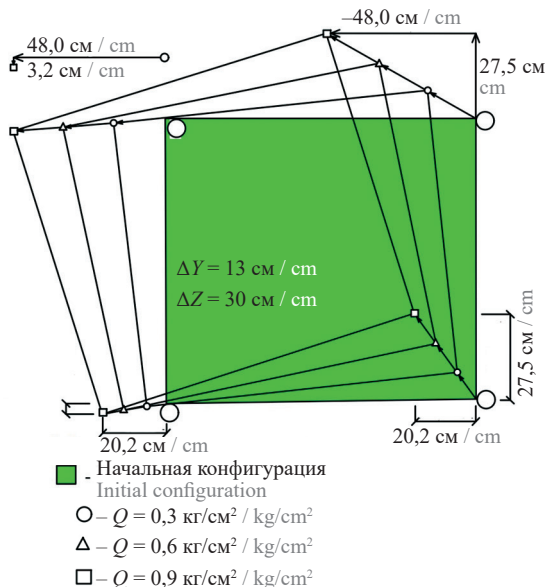


Рис. 6. Перемещение контура опускного колодца в сплошной упругой среде при действии боковой нагрузки: $Q = 3,0; 6,0; 9,0 \text{ кг/см}^2$

Fig. 6. Relocation of the contour of the foundation cylinder in the continuous elastic environment under the lateral load: $Q = 3,0; 6,0; 9,0 \text{ kg/cm}^2$

Моделирование условно-мгновенных срывов массивной оболочки при погружении ее в неоднородную грунтовую среду

С помощью программного комплекса Autodesk Robot Structural Analysis Professional [25–27] проводился анализ работы конструкции опускной оболочки в период ее внезапного неконтролируемого проскальзывания (падения) на дно открытой грунтовой полости с высоты 1,3–1,5 м при углах отклонения от вертикальной оси $0,5\text{--}5^\circ$.

При разработке расчетной модели (рис. 9) учитывалось, что конструкция оболочки состоит из двух цилиндров, поставленных друг на друга:

- верхний цилиндр: наружный радиус $R = 36 \text{ м}$, внутренний радиус $R = 30,5 \text{ м}$, высота $H1 = 46 \text{ м}$;

Влияние величин U_k на осадки поверхности грунта при кренах опускного колодца
 The influence of U_k values on the subsidence of the soil surface in case of the foundation cylinder tilts

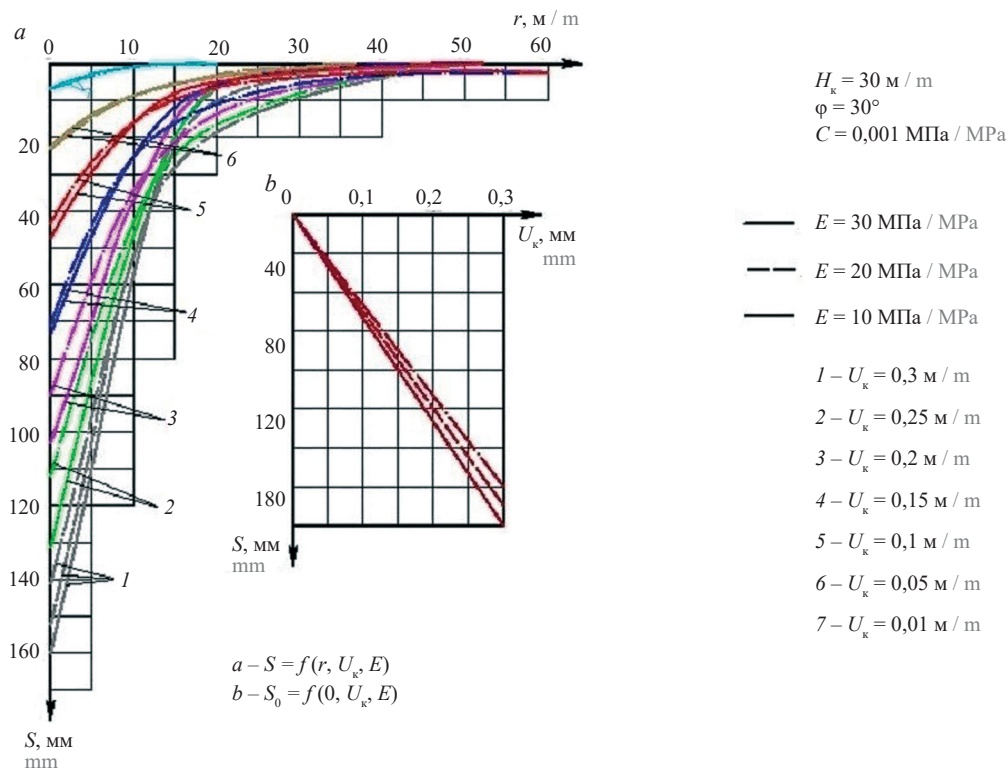


Рис. 7. Регулирование величин U_k на осадки поверхности грунта при кренах опускного колодца

Fig. 7. Regulating U_k values in terms of the values of subsidence of the soil surface in case of the foundation cylinder tilts

Влияние горизонтальных перемещений стен колодца на осадки поверхности грунта ($H_k = 30 \text{ м}$)
 Influence of horizontal displacements of the well walls on the subsidence of the soil surface ($H_k = 30 \text{ м}$)

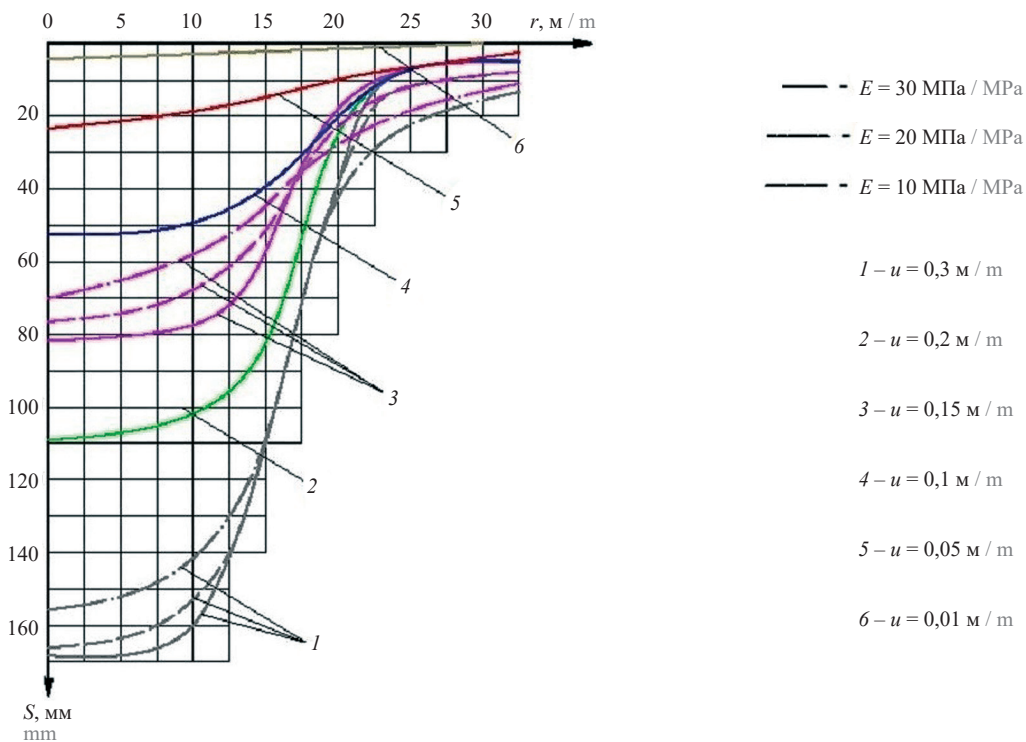


Рис. 8. Регулирование горизонтальных перемещений стен колодца в режиме управляемой посадки сооружения

Fig. 8. Regulating horizontal displacements of the well walls in the mode of the controlled embedment of a structure

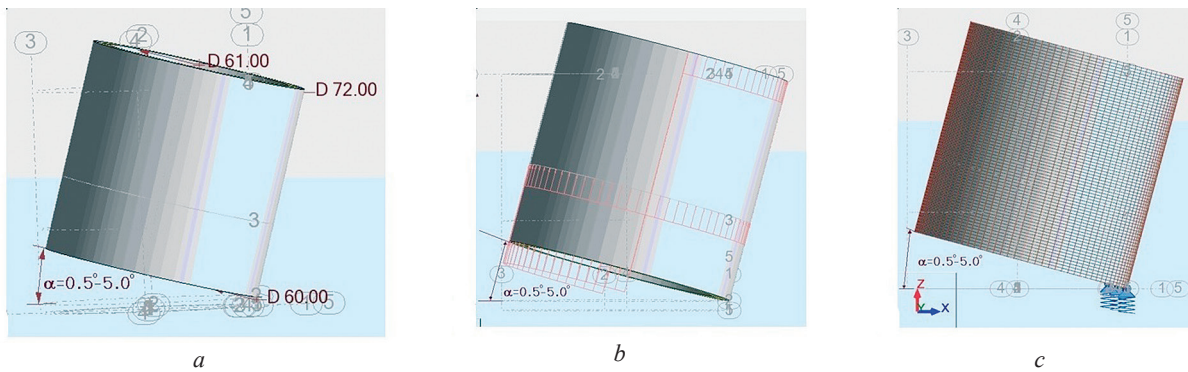


Рис. 9. Схемы расчетных моделей погружаемой оболочки при различных углах ее отклонения от вертикальной оси: *a* — статическое опирание при крене; *b, c* — срыв и проскальзывание при крене (отклонении от вертикальной оси)

Fig. 9. Structures of design models of a lowered shell at different angles of deviation from the vertical axis: *a* — static support in case of tilt; *b, c* — fall and sliding in case of tilt (deviation from the vertical axis)

- нижний цилиндр: наружный радиус $R = 36$ м, внутренний радиус $R = 30$ м, высота $H_2 = 25$ м. Таким образом, наружный диаметр оболочки составил $D = 72$ м, высота оболочки равна $H = 71$ м. Бетон класса В30.

Для моделирования величины силы удара при срыве оболочки в модели цилиндр падал с высоты $H = 150\text{--}250$ см под действием собственного веса с углом наклона $0,5\text{--}5^\circ$ на податливый грунт (глина зеленовато-серая: $\varphi = 21^\circ$, $C = 0,04$ МПа, $E = 19$ МПа). Моделировалась пространственная расчетная схема оболочки весом $G = 210\ 000$ т; число узлов — 16 944; объемных КЭ — 12 496; количество статических степеней свободы — 50 828; количество нагружений — 27; ускорение свободного падения $g = 9,81$ м/кВ·с; время падения $t = \sqrt{2H/g}$; $\Delta t = 0,30\text{--}0,54$ с. Из-за угла наклона силы трения прикладывались в верхней части колодца с одной стороны и в нижней части с противоположной стороны.

При анализе НДС оболочки использовался коэффициент запредельного состояния n , определяемый отношением эквивалентного напряжения конструкции оболочки по Мизесу к предельному сопротивлению бетона класса В30.

Так как моделирование процессов срыва при различных углах отклонения оболочки от оси α и высот падения ΔH выполнялось в достаточно большом диапазоне, в таблице представлены только наиболее характерные результаты, которые были приняты для анализа. Общая расчетная таблица результатов интегрирования уравнений движения оболочки при срыве (падении) на скорости VZ, VX, VY см/с, ускорении AZ, AX, AY см/с² и смещениях UZ, UX, UY см составляла 186 385 строк.

По результатам моделирования (рис. 10) установлены допустимые параметры пространственного положения оболочки и диапазоны ее условно-мгно-

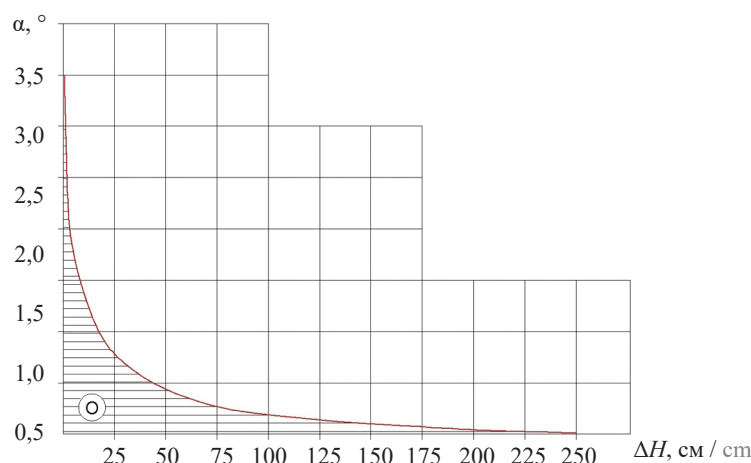


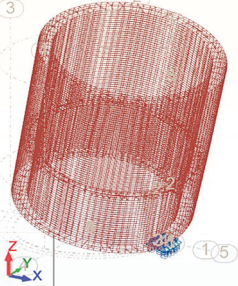
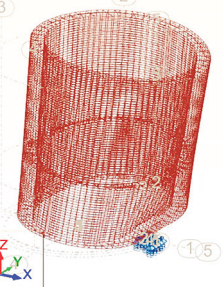
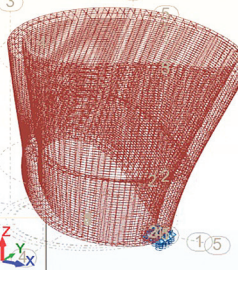
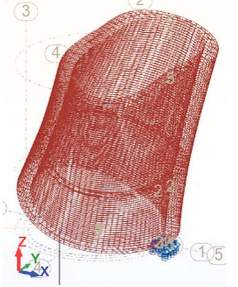


Рис. 10. Область предельно допустимых величин условно-мгновенных посадок (срывов) ΔH оболочки диаметром $D = 61$ м, высотой $H = 71$ м, весом $G = 210\ 000$ т, при различных углах отклонения сооружения от вертикальной оси α° (бетон класса В30; $\varphi = 21^\circ$, $C = 0,04$ МПа, $E = 19$ МПа)

Fig. 10. The area of maximum permissible values of conditionally instantaneous falls ΔH of the shell, $D = 61$ m, height $H = 71$ m, weight $G = 210\ 000$ tons, at different angles of deviation of the structure from vertical axis α° (B30 concrete; $\varphi = 21^\circ$, $C = 0.04$ МПа, $E = 19$ МПа)

Результаты моделирования

The simulation results

	$n^0 = 0,21$ $\Delta_{\max}^0 = 0,0$ см		$n^2 = 0,56$ $\Delta_{\max}^2 = 3,1$ см		$n^4 = 0,56$ $\Delta_{\max}^4 = 26,1$ см
Исходное положение $\alpha = 0,5^\circ$; $\Delta H = 0$ м Initial position $\alpha = 0.5^\circ$; $\Delta H = 0$ m	Форма 2. Допредельное НДС $\alpha = 0,5^\circ$; $\Delta H = 1,25$ м Form 2. Prelimit SSS $\alpha = 0.5^\circ$; $\Delta H = 1.25$ m	Форма 4. Предельное НДС $\alpha = 1^\circ$; $\Delta H = 1,25$ м Form 4. Limit SSS $\alpha = 1^\circ$; $\Delta H = 1.25$ m			
	$n^{11} = 1,94$ $\Delta_{\max}^{11} = 43,5$ см		$n^{17} = 3,68$ $\Delta_{\max}^{17} = 62,3$ см		$n^{22} = 0,56$ $\Delta_{\max}^{22} = 183,4$ см
Форма 11. Запредельное НДС $\alpha = 2,5^\circ$; $\Delta H = 1,25$ м Form 11. Superlimiting SSS $\alpha = 2.5^\circ$; $\Delta H = 1.25$ m	Форма 17. Запредельное НДС $\alpha = 2,5^\circ$; $\Delta H = 2,5$ м Form 17. Superlimiting SSS $\alpha = 2.5^\circ$; $\Delta H = 2.5$ m	Форма 22. Запредельное НДС $\alpha = 3,5^\circ$; $\Delta H = 2,5$ м Form 22. Superlimiting SSS $\alpha = 3.5^\circ$; $\Delta H = 2.5$ m			

венных срывов, обеспечивающих допредельное НДС оболочки.

Результаты моделирования продемонстрировали, что для крупногабаритных оболочек рекомендации нормативных документов имеют ограниченное применение и нуждаются в подтвержденном расчетном моделировании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты мониторинга, геотехнической оценки и численного моделирования взаимодействия крупногабаритного опускного колодца с неоднородным грунтовым массивом убедительно показали, что в силу специфических условий взаимодействия массивной оболочки с грунтовым массивом необходим учет этой специфики нестационарного режима погружения в расчетах. Особенности взаимодействия характеризуются включением в работу эффекта (фактора) масштабности: геометрическая изменчивость (деформации и смещения) оболочки при гиперразмерах площади боковой поверхности опускного сооружения, взаимодействующего с разнородным грунтом, и его супербо́льшая масса, создающая мощный кинетический импульс при

мгновенных посадках опускного сооружения в разнородные грунты. Предложенная концепция позволяет моделировать бездефектный ЖЦ опускного колодца на этапе проектирования путем моделирования совместного проявления факторов, обуславливающих специфическое поведение конструкции при погружении и вмещающего ее грунтового массива и препятствующих осуществлению проектных режимов возведения сооружения. Необходимо учитывать, что на разных этапах погружения проявляется различное, даже знакопеременное, НДС системы «крупногабаритная оболочка — грунтовой массив» и реализуются одновременно эпюры давлений грунтовой среды на разных частях боковой поверхности оболочки, включая давление покоя, активное и пассивное давления, что невозможно учесть традиционными методами расчета. Представленный подход на основе выявленных особенностей и закономерности взаимодействия крупногабаритного опускного колодца с неоднородным грунтовым массивом позволяют определить параметры геотехнических воздействий и режимов их применения для недопущения запредельного развития деформаций оболочки и регулируемого бездефектного режима погружения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Perminov N., Pankova G., Perminov A.* Geotechnical aspects of security for long-operated underground collectors in conditions of soft soils and increasing technogenic influences // ICSMGE 2017 — 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 19, Unearth the Future, Connect Beyond. 2017. Pp. 1757–1760. URL: <https://www.issmge.org/uploads/publications/1/45/06-technical-committee-10-tc204jtc2-27.pdf>
2. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. 2-е издание / под ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. М. : Из-во АСВ, 2016. 1040 с.
3. *Шулятьев О.А., Мозгачева О.А., Поспехов В.С.* Освоение подземного пространства городов. М. : Из-во АСВ, 2017. 510 с.
4. *Travush V.I., Shulyat'ev O.A., Shulyat'ev S.O., Shakhraman'yan A.M., Kolotovichev Yu.A.* Analysis of the results of geotechnical monitoring of “Lakhta Center” Tower // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2019. Vol. 56. Issue 2. Pp. 98–106. DOI: 10.1007/s11204-019-09576-9
5. *Ломбас С.В., Житенев А.И., Перминов Н.А.* Геотехническое обеспечение бездефектного жизненного цикла уникальных насосных станций водоотведения в сложных инженерно-геологических условиях // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 12. С. 50–60. URL: <https://www.vstnews.ru/ru/archives-all/2020/2020-12/8145-geotekhnicheskoe-obespechenie>
6. *Varabash M.S.* Моделирование запроектных воздействий при исследовании жизненного цикла конструкций зданий и сооружений // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2012. Т. 12. № 3. С. 15–25. DOI: 10.22337/1524-5845-2016-12-3-15-25
7. *Il'ichev V.A., Nikiforova N.S., Gotman Y.A.* Structural safety security of objects with an underground part by transformation of soil properties: Alabyano-Baltic Tunnel in Moscow // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2017. Vol. 54. No. 2. Pp. 137–141. DOI: 10.1007/s11204-017-9446-4.
8. *Шаниро Д.М.* Инженерный метод расчета давления грунта на подпорные стенки // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8. № 3. С. 51–61. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.06
9. *Тер-Мартirosян З.Г., Акулецкий А.С.* Взаимодействие сваи большой длины с окружающим многослойным и подстилающим грунтами // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 2. С. 168–175. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.2.168-175
10. *Bogomolov A.N., Bogomolova O.A.* Comparison of physical and computational experiment results to determine the load-bearing capability of a Uniform Plate Bed // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2016. Vol. 52. Issue 6. Pp. 322–328. DOI: 10.1007/s11204-016-9348-x
11. *Viggiani C., Mandolini A., Russo G.* Piles and pile foundations. London : CRC Press, 2012. 296 p. DOI: 10.4324/9780203880876
12. *Karaulov A.M., Korolev K.V.* On the determination of the maximum earth pressure on retaining walls // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2015. Vol. 52. Issue 4. Pp. 175–180. DOI: 10.1007/s11204-015-9325-9
13. *Nguyen N.H.T., Bui H., Nguyen G.D.* An approach to calculating large strain accumulation for discrete element simulations of granular media // International journal for numerical and analytical methods in geomechanics. 2020. Vol. 44. Issue 11. Pp. 1525–1547. DOI: 10.1002/nag.3076
14. *Perelmuter A.V., Kabantsev O.V.* About the problem of analysis resistance bearing systems in failure of a structural element // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. Vol. 14. Issue 3. Pp. 103–113. DOI: 10.22337/2587-9618-2018-14-3-103-113.
15. *Mangushev R.A., Osokin A.I.* The experience of the underground construction for the complex of buildings on a soft soil in the center of St. Petersburg // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2020. Vol. 16. Issue 3. Pp. 47–53. DOI: 10.22337/2587-9618-2020-16-3-47-53
16. *Орехов В.В., Алексеев Г.В.* Прогноз влияния строительства подземного комплекса на окружающую застройку // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 8 (107). С. 839–845. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.8.839-845
17. *Власов А.Н., Волков-Богородский Д.Б., Знаменский В.В., Мнушкин М.Г.* Численное моделирование строительства зданий с фундаментами глубокого заложения в условиях плотной городской застройки // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2014. № 2. С. 170–179.
18. *Kwast E., Bakker K., Broere W., Bezuijen A.* A 3D FE model for excavation analysis // Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: Proceedings of the 5th International Symposium TC28. Amsterdam, the Netherlands, 15–17 June 2005. 2006. Pp. 473–478.
19. *Dong Y.P., Burd H.J., Houlsby G.T., Hou Y.M.* Advanced finite element analysis of a complex deep excavation case history in Shanghai // Frontiers of Structural and Civil Engineering. 2014. Vol. 8. Issue 1. Pp. 93–100. DOI: 10.1007/s11709-014-0232-3
20. *Perminov N.A.* Application of electroosmosis and monitoring for the management of geotechnical processes in underground construction // Journal Water

Technol Treat Methods. 2018. Vol. 1. Issue 1. P. 107. DOI: 10.15406/ijh.2018.02.00117

21. Zertsalov M., Znamenskiy V., Khokhlov I.N. Some peculiarities of interaction of socketed shafts with rock mass subjected to lateral loading // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017. 2017. Pp. 767–774. URL: <http://toc.proceedings.com/36219webtoc.pdf>

22. Khoteev E., Zertsalov M., Merkin V. The determination of crack resistance of the circular shaped fiber reinforced concrete tunnel lining by means of linear fracture mechanics // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017. 2017. Pp. 873–880. <http://toc.proceedings.com/36219webtoc.pdf>

23. Bellendir E.N., Aleksandrov A.V., Zertsalov M.G., Simutin A.N. Building and structure protection and leveling using compensation grouting technology // Power Technology and Engineering. 2016. Vol. 50. Issue 2. Pp. 142–146. DOI: 10.1007/s10749-016-0674-y

24. Мангушев Р.А., Перминов Н.А., Свистин В.В., Перминов А.Н., Шиманов А.А. Оценка конструкционной безопасности и методы геотехнической защиты длительно эксплуатируемых уникальных подземных сооружений водоотведе-

ния в условиях слабых грунтов и возрастающих техногенных воздействий // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году: сб. науч. тр. РААСН. В 2-х т. Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН), 2021. С. 128–141.

25. Перминов Н.А., Свистин В.В., Перминов А.Н. Моделирование напряженно-деформированного состояния тоннельного коллектора в условиях сочетания техногенных воздействий // VII International Symposium APCSE. 2018. 2018. С. 265–267.

26. Frolov Y.S., Konkov A.N., Larionov A.A. Scientific substantiation of constructive-technological parameters of St. Petersburg subway underground structures // Procedia Engineering. 2017. Vol. 189. Pp. 673–680. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.107

27. Fialko S.Yu., Kabantsev O.V., Perelmuter A.V. Elasto-plastic progressive collapse analysis based on the integration of the equations of motion // Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 2 (102). P. 10214. DOI: 10.34910/MCE.102.14

Поступила в редакцию 16 декабря 2021 г.

Принята в доработанном виде 12 февраля 2022 г.

Одобрена для публикации 12 февраля 2022 г.

ОБ АВТОРЕ: **Николай Алексеевич Перминов** — кандидат технических наук, доцент кафедры строительства дорог транспортного комплекса; **Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)**; 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, д. 9; РИНЦ ID: 406600, Scopus: 56166386300, ORCID: 0000-0003-4894-9023; perminov-n@mail.ru.

REFERENCES

1. Perminov N., Pankova G., Perminov A. Geotechnical aspects of security for long-operated underground collectors in conditions of soft soils and increasing technogenic influences. *Conference proceedings: ICSMGE 2017 — 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. 19, Unearth the Future, Connect Beyond.* 2017; 1757-1760. URL: <https://www.issmge.org/uploads/publications/1/45/06-technical-committee-10-tc204jtc2-27.pdf>

2. *Handbook of geotechnics. Foundations, foundations and underground structures.* 2nd ed. / ed. V.A. Ilyicheva and R.A. Mangushev. Moscow, ASV Publishing House, 2016; 1040. (rus.).

3. Shulyatiev O.A., Mozgacheva O.A., Pospelkhov V.S. *Development of the underground space of cities.* Moscow, ASV Publishing House, 2017; 510. (rus.).

4. Travush V.I., Shulyat'ev O.A., Shulyat'ev S.O., Shakhraman'yan A.M., Kolotovichev Yu.A. Analysis of the results of geotechnical monitoring of “Lakhta Center” Tower. *Soil Mechanics and Foundation Engineering.* 2019; 56(2):98-106. DOI: 10.1007/s11204-019-09576-9

5. Lombas S.V., Zhitenev A.I., Perminov N.A. Geotechnical support of the zero-defect life cycle of unique sewage pumping stations in complex engineering and geological environments. *Water Supply and Sanitary Technique.* 2020; 12:50-60. URL: <https://www.vstnews.ru/ru/archives-all/2020/2020-12/8145-geotekhnicheskoe-obespechenie> (rus.).

6. Barabash M.S. Modelling of unexpected loads beyond design value during research of building construction life cycle. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering.* 2012; 12(3):15-25. DOI: 10.22337/1524-5845-2016-12-3-15-25 (rus.).

7. Il'ichev V.A., Nikiforova N.S., Gotman Y.A. Structural safety security of objects with an underground part by transformation of soil properties: Alabyano-Baltic Tunnel in Moscow // *Soil Mechanics and Foundation Engineering.* 2017; 54(2):137-141. DOI: 10.1007/s11204-017-9446-4.

8. Shapiro D.M. Engineering method of calculating soil pressure on retaining walls. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and*

Architecture. 2017; 8(3):51-61. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.06 (rus.).

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

10. Bogomolov A.N., Bogomolova O.A. Comparison of Physical and Computational Experiment Results to Determine the Load-Bearing Capability of a Uniform Plate Bed. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2016; 52(6):322-328. DOI: 10.1007/s11204-016-9348-x

11. Viggiani C., Mandolini A., Russo G. *Piles and pile foundations*. London, CRC Press, 2012; 296. DOI: 10.4324/9780203880876

12. Karaulov A.M., Korolev K.V. On the determination of the maximum earth pressure on retaining walls. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2015; 52(4):175-180. DOI: 10.1007/s11204-015-9325-9

13. Nguyen N.H.T., Bui H., Nguyen G.D. An approach to calculating large strain accumulation for discrete element simulations of granular media. *International journal for numerical and analytical methods in geomechanics*. 2020; 44(11):1525-1547. DOI: 10.1002/nag.3076

14. Perelmuter A.V., Kabantsev O.V. About the problem of analysis resistance bearing systems in failure of a structural element. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2018; 14(3):103-113. DOI: 10.22337/2587-9618-2018-14-3-103-113

15. Mangushev R.A., Osokin A.I. The experience of the underground construction for the complex of buildings on a soft soil in the center of St. Petersburg. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2020; 16(3):47-53. DOI: 10.22337/2587-9618-2020-16-3-47-53

16. Orekhov V.V., Alekseev G.V. Forecast of Influencing the Underground Complex Construction on a Context Area. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017; 12(8):(107):839-845. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.8.839-845 (rus.).

17. Vlasov A.N., Volkov-Bogorodsky D.B., Znamenskiy V.V., Mnushkin M.G. Numerical modeling of the construction of buildings with deep foundations in dense urban areas. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture*. 2014; 2:170-179. (rus.).

18. Kwast E., Bakker K., Broere W., Bezuijen A. A 3D FE model for excavation analysis. *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: Proceedings of the 5th International Symposium TC28. Amsterdam, the Netherlands, 15-17 June 2005*. 2006. Pp. 473–478.

19. Dong Y.P., Burd H.J., Houlsby G.T., Hou Y.M. Advanced Finite Element Analysis of a Complex Deep Excavation Case History in Shanghai. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*. 2014; 8(1):93-100. DOI:10.1007/s11709-014-0232-3

20. Perminov N.A. Application of electroosmosis and monitoring for the management of geotechnical processes in underground construction. *Journal Water Technol Treat Methods*. 2018; 1(1):107. DOI: 10.15406/ijh.2018.02.00117

21. Zertsalov M., Znamenskiy V., Khokhlov I.N. Some peculiarities of interaction of socketed shafts with rock mass subjected to lateral loading. *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017*. 2017; 767-774. URL: <http://toc.proceedings.com/36219webtoc.pdf>

22. Khoteev E., Zertsalov M., Merkin V. The determination of crack resistance of the circular shaped fiber reinforced concrete tunnel lining by means of linear fracture mechanics. *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017*. 2017. Pp. 873–880. <http://toc.proceedings.com/36219webtoc.pdf>

23. Bellendir E.N., Aleksandrov A.V., Zertsalov M.G., Simutin A.N. Building and structure protection and leveling using compensation grouting technology. *Power Technology and Engineering*. 2016; 50(2):142-146. DOI: 10.1007/s10749-016-0674-y

24. Mangushev R., Perminov N., Svitin V., Perminov A., Shimanov A. Assessment of design safety and methods of geotechnical protection of long-operated unique underground water discharge conditions in weak soil conditions and growing man-general impacts. *Fundamental, search and applied research of the RAASN on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2020: a collection of scientific papers of the RAASN: in 2 volumes. Russian Academy of Architecture and Building Sciences (RAASN)*. 2021; 128-141. (rus.).

25. Perminov N.A., Svitin V.V., Perminov A.N. Modeling the stress-strain state of a tunnel collector under conditions of a combination of technogenic impacts. *VII International Symposium APCSCCE*. 2018; 265-267. (rus.).

26. Frolov Y.S., Konkov A.N., Larionov A.A. Scientific Substantiation of Constructive-technological Parameters of St. Petersburg Subway Underground Structures. *Procedia Engineering*. 2017; 189:673-680. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.107

27. Fialko S.Yu., Kabantsev O.V., Perelmuter A.V. Elasto-plastic progressive collapse analysis based on the integration of the equations of motion. *Magazine of Civil Engineering*. 2021; 2(102):10214. DOI: 10.34910/MCE.102.14

Received December 16, 2021.

Adopted in revised form on February 12, 2022.

Approved for publication on February 12, 2022.

BIONOTES: Nikolay A. Perminov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Road Construction of the Transport Complex; **Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS)**; 9 Moskovsky av., St. Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 406600, Scopus: 56166386300, ORCID: 0000-0003-4894-9023; perminov-n@mail.ru.

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 502/504

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.205-221

Сооружения обработки осадков сточных вод крупного региона — как многокомпонентная система

К.Л. Чертес¹, О.В. Тупицына¹, В.Н. Пыстин¹, Н.И. Шестаков²,
А.П. Сеянко¹, Д.Е. Быков¹

¹ Самарский государственный технический университет (СамГТУ); г. Самара, Россия;

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Разработка технологии обращения с осадками требует понимания очистных сооружений (ОС), как сложных многопараметрических систем, имеющих выраженные корреляционные связи между составом сточных вод (СВ) и полученных на их основе концентрированных загрязнений. Рассматривается создание экологически безопасных комплексов утилизации осадков сточных вод (ОСВ), учитывающих технологические особенности ОС.

Материалы и методы. Исследуются наиболее крупные ОС, расположенные в Самарской области, а также различные партии ОСВ, которые формируются сейчас и уже имеются в ареале их влияния. Для решения поставленных задач применен метод главных компонент (МГК).

Результаты. Представлена критериально-параметрическая оценка ОС и осадков, образующихся и накопленных на них, с расчетом экологических и ресурсных параметров. Для полученных данных осуществлялись процедуры центрирования и шкалирования с дальнейшим анализом с помощью МГК. Результаты построенной МГК-модели отображены на графиках счетов и нагрузок, которые характеризуют взаимосвязь между месторождениями и оцениваемыми их параметрами.

Выводы. При анализе 20 площадок ОС, подвергнутых отбору, в рациональную область вошли 6 объектов, которые характеризуются развитой инженерной инфраструктурой; в условно рациональную область — 8 объектов, на их территории создание комплексов обработки и утилизации осадков требует предварительного геоэкологического обоснования. Оставшиеся 6 объектов относятся к области нерациональных, ресурсная способность которых недостаточна для организации эффективных производств. Системный подход позволяет позиционировать объекты обработки ОСВ на комплексах очистных сооружений, расположенных в рациональной и условно рациональных областях освоения, и наметить технологические схемы более глубокого вовлечения осадков в утилизацию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: осадки сточных вод, очистные сооружения, комплекс утилизации, критериально-параметрическая оценка, метод главных компонент

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Чертес К.Л., Тупицына О.В., Пыстин В.Н., Шестаков Н.И., Сеянко А.П., Быков Д.Е. Сооружения обработки осадков сточных вод крупного региона — как многокомпонентная система // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 2. С. 205–221. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.205-221

Автор, ответственный за переписку: Николай Игоревич Шестаков, Nik.shestakov.1990@mail.ru.

Wastewater sediment treatment facilities in a large region as a multi-component system

Konstantin L. Chertes¹, Olga V. Tupitsyna¹, Vitaliy N. Pystin¹,
Nikolay I. Shestakov², Artem P. Seyanko¹, Dmitry E. Bykov¹

¹ Samara State Technical University (SSTU); Samara, Russian Federation;

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

ABSTRACT

Introduction. The development of a sludge management technology requires the understanding of treatment facilities as complex multi-parameter systems having explicit correlations between the composition of wastewater and concentrated pollution. In this regard, the article discusses the establishment of environmentally friendly systems for the disposal of sewage sludge, taking into account the process features of treatment facilities.

Materials and methods. The authors study the largest treatment facilities located in the Samara region, as well as various new and previously accumulated batches of sewage sludge in the area of their influence. The method of principal components is applied to solve the pre-set tasks.

Results. Parametric criteria, used to evaluate the treatment facilities and the sludge they accumulate, are addressed in the article. The project also encompasses the calculation of environmental and resource parameters. Data centering and scaling

were applied to the information obtained in the course of the project implementation, and the obtained data were further analyzed using the method of principal components. The results obtained with the help of the model, constructed using the method of principal components, are displayed in the graphs of accounts and loads, characterizing the relationship between the fields and parameters used to evaluate them.

Conclusions. Following the analysis of 20 pre-selected sites of treatment facilities, 6 facilities were considered as rational, since they are characterized by the well-developed engineering infrastructure. The conditionally rational area includes 8 facilities. Sediment processing and disposal plants are to be established there upon completion of preliminary environmental surveys. The remaining 6 facilities are considered irrational, since their resource capacity is insufficient for efficient production processes. A systematic approach allows (1) arranging sewage sludge treatment facilities at wastewater treatment plants located in the rational and conditionally rational areas of development and (2) drafting process flow diagrams to ensure a higher involvement of sludge in reclamation processes.

KEYWORDS: sewage sludge, treatment facilities, reclamation facility, evaluation using parametric criteria, principal component analysis

FOR CITATION: Chertes K.L., Tupitsyna O.V., Pystin V.N., Shestakov N.I., Seyanko A.P., Bykov D.E. Wastewater sediment treatment facilities in a large region as a multi-component system. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(2):205-221. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.205-221 (rus.).

Corresponding author: Nikolay I. Shestakov, Nik.shestakov.1990@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее крупнотоннажных отходов органоминеральной природы выступают осадки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод (СВ).

В крупном регионе количество осадков по ресурсному фактору сопоставимо с объемом твердых коммунальных отходов [1, 2].

На подавляющем большинстве очистных сооружений (ОС) нерешенность вопроса обработки и утилизации осадков приводит к накоплению и загниванию. Как следствие — ухудшается состояние всех компонентов окружающей среды. В конечном итоге вместо очистки происходит перенос загрязнений из объема сточной жидкости в отвал, а затем в концентрированном и более токсичном виде — в водоемы.

Методы обработки осадков требуют значительных затрат тепловой и электрической энергии, химических реагентов, а также разнообразного оборудования: емкостного, дозаторного, сгущающего и обезвоживающего; компрессоров, насосов, теплообменников; оборудования для транспортировки, сушки, сжигания, биотермического компостирования [3].

Однако решение проблемы осадков сопряжено не только с совершенствованием существующих или разработкой новых технологических процессов на ОС. Необходим учет главной цели обработки и утилизации осадков — получения компактного, обезвреженного, легко транспортируемого продукта, который должен обладать сродством с геосредой — источником образования этого отхода.

В сложных технологических цепочках управления обработкой и утилизацией осадков на комплексах очистных сооружений (КОС) с различным уровнем технологической сложности не всегда очевидно, какой метод обработки — главный, а какой вспомогательный. Подобная неопределенность отрицательно влияет на выбор ресурсосберегающих технологий и общее состояние экосистем в целом.

Большинство подходов к сооружениям обработки осадков основано исключительно на создании инженерных объектов, способствующих удалению отходов с территории очистных сооружений любой ценой. Без этого дальнейшая очистка СВ невозможна. Между тем в разработке технологии обращения с осадками необходимо понимание ОС, как сложных многопараметрических систем, имеющих выраженные корреляционные связи между составом СВ и полученных на их основе концентрированных загрязнений.

Устойчивые связи между технологическими особенностями ОС и направлениями утилизации осадков существуют. Однако их выявление для проектирования узлов утилизации осадков требует детального анализа многомерных данных как по ОС, так и по осадкам сточных вод (ОСВ).

В этой связи представляется актуальной адаптация существующего в химических технологиях, но ни разу не применявшегося в практике водоотведения метода главных компонент (МГК) для эколого-технической оценки пригодности ОС как площадок создания комплексов утилизации осадков [4–6].

Целью настоящей работы является создание экологически безопасных комплексов утилизации крупнотоннажных отходов водоотведения — ОСВ, учитывающих технологические особенности ОС. Для достижения данной цели следует выполнить следующие задачи:

- 1) анализ осадкообразования в зависимости от ресурсных, инженерных и геоэкологических особенностей КОС;
- 2) анализ видов, структуры, состава наиболее распространенных типов ОСВ применительно к их последующей утилизации;
- 3) анализ имеющихся методов предварительной подготовки осадков в составе инвариантных технологических схем;
- 4) разработка системы соответствия направлений подготовки осадков выделенному уровню технологической сложности и особенностям конкретного типа ОС. Обоснование этой системы с ис-

пользованием современного математического аппарата обработки многомерных данных;

5) разработка технологических схем подготовки осадков с совершенствованием методов структурно-фазового концентрирования, биостабилизации и, при необходимости, упрочнения; метод упрочнения осадков целесообразен, например, для связывания тяжелых металлов;

б) конструктивное оформление комплексов подготовки и утилизации ОСВ для ОС с различным уровнем технологической сложности, ресурсными и геоэкологическими особенностями;

7) технико-экономическое обоснование представленных выше комплексов подготовки и утилизации ОСВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов выступили исследованные при участии авторов канализационные очистные сооружения (20 объектов) (табл. 1). Кроме того, объектами изучения стали 6 различных партий ОСВ, образующиеся и ранее накопленные в ареале влияния ОС (6 типов) (табл. 2).

Выбор ОС обусловлен различными уровнем развитости их инженерной инфраструктуры по обращению с осадками, ресурсными и экологическими особенностями.

Выбор и последующая типизация осадков были определены возможностями существующей базы данных, а также отличиями в генезисе образования.

Типизация включала:

- осадки городских СВ (в том числе аэробно стабилизированные и анаэробно сброженные смеси осадков первичных отстойников с избыточным илом);
- осадки нефтесодержащих СВ (в том числе при совместной очистке с городскими стоками);
- осадки, накопленные на иловых площадках и в илонакопителях (старые залежи, объекты исторически накопленного экологического вреда);
- избыточные активные илы.

В табл. 1 представлены сведения по объемам образования осадков наиболее крупных станций аэрации Самарской области — развитого промышленного региона РФ¹. Здесь ежегодно образуется более 5 млн м³ сырых осадков и избыточных активных илов (ИАИ), большая часть которых после весьма несовершенной обработки или складывается поблизости от иловых площадок, или вывозится на свалки.

В табл. 2 приведены сведения по составу осадков, обследованных при участии авторов.

С одной стороны, рассмотренные осадки содержат в своем составе азот, фосфор, калий, гумус, микро- и макроэлементы, т.е. являются органомине-

ральным удобрением. С другой стороны, в них находятся гельминты, патогенная микрофлора, легкозагнивающая органика.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ объектов изучения показал, что перед утилизацией ОСВ требуется их подготовка для получения транспортабельного, безопасного в санитарном и экологическом отношении продукта, который можно утилизировать с минимальным ущербом для окружающей среды.

Для этого осадок следует подвергнуть последовательной или параллельной обработке с использованием следующих групп методов:

- фазово-структурного концентрирования (или обезвоживания);
- биостабилизации (или минерализации и обеззараживания);
- упрочнения (или консолидации, например, для связывания подвижных форм токсикантов).

Разнообразие состава СВ предопределяет необходимость индивидуального подхода к вопросам выбора метода обработки и утилизации ОСВ для каждого конкретного объекта.

В настоящей работе предполагается, что основным направлением утилизации осадков выступит их использование в качестве грунтоподобных рекультивационных материалов (ГРМ) [7–9].

Критериально-параметрическая оценка очистных сооружений и осадков, образующихся и накопленных на них

Показателем разработки системы соответствия направлений подготовки осадков выделенному уровню технологической сложности и особенностям ОС является предлагаемая критериально-параметрическая оценка как самих КОС, так и типов ОСВ.

Все характеристики выбранных ОС применительно к их особенностям, а также характеристики осадков, вновь образующихся и накопленных в границах данных сооружений, дифференцированы на две группы: геоэкологическую и ресурсную.

В геоэкологическую группу параметров входят показатели опасности осадков, наличия в них основных загрязняющих элементов и соединений, а также степень защищенности геосреды от загрязнения.

Группа ресурсных параметров КОС оценивает потенциальный объем осадков и потребность во вторичных рекультивационных материалах для данной территории местности, а также площади ОС и деградированных их деятельностью земель в границах объектов размещения осадков, включающих иловые площадки и илошламонакопители.

Окончательно наборы параметров ОС и осадков, как многопараметрических систем, сведены в табл. 3 [10].

¹ Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области за 2020 г.

Табл. 1. Сведения по ОСВ на наиболее крупных очистных сооружениях Самарской области
 Table 1. Information on sewage sludge at the largest treatment facilities in the Samara region

Населенный пункт или предприятие Populated area or enterprise	Производительность КОС, тыс. м³/сут Capacity of treatment facilities, m³/day	Метод предварительной обработки ОСВ Sewage sludge pre-treatment method	Объем ОСВ, тыс. м³/год Amount of sewage sludge, thousand m³/year		Накоплено на конец 2020 г., тыс. т абсолютно сухого вещества (а.с.в.) Amount of absolutely dry substance accumulated as of the year-end 2020, in thousand tons	Место размещения или направления утилизации Reclamation location or transportation
			сырых Raw sludge	обезвоженных Dehydrated sludge		
г. Самара Samara	1000,0	Фильтр-прессование, иловые площадки Pressure filtering, sludge draining beds	2555	146,0	8800	Иловые площадки и частичный вывоз на полигон твердых бытовых отходов (ТБО) «Преображенка» Sludge draining beds and transportation to Preobrazhenka solid waste landfill
г. Тольятти Togliatti	290,0	Иловые площадки Sludge draining beds	529	52,9	—	На поля захоронения и частично на полигоны промотходов «Даниловский-2» и «Тимофеевский» Transportation to burying fields, Danilovsky-2 and Timofeevsky industrial waste landfills
г. Сызрань Syzran	63,7	Иловые площадки Sludge draining beds	116	9,3	—	На полигон г. Сызрани Transportation to Syzran solid waste landfill
г. Чапаевск Chapaevsk	15,0	Иловые площадки Pressure filtering	274	11,0	82	Иловые площадки Sludge draining beds
г. Отрадный Otradnyi	31,9	Фильтр-прессование Pressure filtering	116	6,7	—	Полигон ТБО и рекультивация свалки г. Отрадного Solid waste landfill and Otradnoye solid waste landfill reclamation
г. Жигулевск Zhigulevsk	25,0	Центрифугирование Centrifuge treatment	91	7,3	18	На свалке г. Жигулевска At the landfill in Zhigulevsk
г. Похвистнево Pokhvistnevo	22,0	Иловые площадки Sludge draining beds	40	4,0	3,3	На полигоне ТБО г. Похвистнево At the solid waste landfill in Pokhvistnevo
г. Октябрьск Oktjabrsk	6,8	Иловые площадки Sludge draining beds	12	1,0	15,2	Иловые площадки Sludge draining beds
г. Кинель Kinel	17,6	Иловые площадки Sludge draining beds	45	3,6	62	Рекультивация полигона г. Кинеля Landfill reclamation in Kinel

Окончание Табл. 1 / End of the Table 1

Населенный пункт или предприятие Populated area or enterprise	Производительность КОС, тыс. м ³ /сут Capacity of treatment facilities, m ³ /day	Метод предварительной обработки ОСВ Sewage sludge pre-treatment method	Объем ОСВ, тыс. м ³ /год Amount of sewage sludge, thousand m ³ /year		Накоплено на конец 2020 г., тыс. т абсолютно сухого вещества (а.с.в.) Amount of absolutely dry substance accumulated as of the year-end 2020, in thousand tons	Место размещения или направления утилизации Reclamation location or transportation
			сырых Raw sludge	обезвоженных Dehydrated sludge		
г. Нефтегорск Meftegorsk	15,0	Иловые площадки Sludge draining beds	16	0,7	4,5	Иловые площадки Sludge draining beds
пгт. Безенчук Bezenchuk urban-type locality	5,6	Иловые площадки Sludge draining beds	6	0,4	2,1	Иловые площадки Sludge draining beds
с. Кинель-Черкассы Kinel-Cherkassy village	11,5	Иловые площадки Sludge draining beds	13	0,8	1,5	Иловые площадки Sludge draining beds
Районный центр Сергиевск Sergievsk district centre	8,5	Иловые площадки Sludge draining beds	9	0,6	1,0	Вывоз на полигон Сергиевска Transportation to a landfill in Sergievsk
ОАО «Новокуйбышевский НПЗ» Novokuibyshevskiy Oil Refinery open joint stock company	102,3	—	373	—	6718	Илошламонакопитель Sludge collector
ОАО «Куйбышевский НПЗ» Kuibyshevskiy Oil Refinery open joint stock company	33,9	Центрифугирование Centrifuge treatment	124	—	3095	Илошламонакопитель, полигон нефтешламов Sludge collector, oil sludge landfill
ОАО «Сызранский НПЗ» Syzranskiy Oil Refinery open joint stock company	32,0	Центрифугирование Centrifuge treatment	82	—	1635	Илошламонакопитель, рекультивация земель Sludge collector, soil reclamation
ООО «СИБУР Тольятти» SIBUR Togliatti limited liability company	114,0	Центрифугирование, иловые площадки Centrifuge treatment, sludge draining beds	208	33,3	—	Полигон ЗАО «Рекультивация» Landfill of Recultivatsiya closed joint stock company
ОАО «Синтезкаучук» Sintekauchuk open joint stock company	160,0	Вакуум-фильтрация Vacuum filtration	467	23,4	—	Полигон ЗАО «Рекультивация» Landfill of Recultivatsiya closed joint stock company
ОАО «Новокуйбышевская НХК» Novokuibyshevskaya Petrochemical Company, open joint stock company	68,8	—	251	—	5022	Илошламонакопитель Sludge collector
ОАО «Новокуйбышевская ТФ» Novokuibyshevskaya Trade Firm, Open Joint Stock Company	38,5	Иловые площадки Sludge draining beds	42	2,5	8,0	Иловые площадки Sludge draining beds

Табл. 2. Физико-химический и санитарный состав исследованных ОСВ
 Table 2. Physicochemical and sanitary composition of the studied sewage sludge

Показатель Indicator	Единица измерения Measurement unit	Вид осадков и наименование станции аэрации / Type of sludge and aeration plants					
		Смесь СО и ИАИ после сбраживания в метантенках и сушки на иловых площадках (ОСК г. Тольятти) Mixed raw sludge and excessive activated sludge following digestion and dehydration in sludge drying beds (Togliatti treatment facilities)	Обезвоженная смесь СО и ИАИ после сушки на иловой площадке или фильтр-прессования (ГОКС г. Самары) Dehydrated mix of raw sludge and excessive activated sludge dried in sludge drying beds or press filtered (Samara urban sewage treatment plant)	СО после сушки на иловых площадках (КОС г. Кинеля) Raw sludge dehydrated in sludge drying beds (Kinel sewage treatment plant)	Смесь СО и ИАИ после сушки на иловых площадках КОС г. Жигулевска Mixed raw sludge and excessive activated sludge following dehydration in Zhigulevsk sewage treatment plant	ИАИ КОС ОАО «Новокуйбышевский НПЗ» Excessive activated sludge at Novokuibyshevsky sewage treatment plant	СО после центрифугирования (КОС АО КНПЗ) Centrifuge treated raw sludge (Sewage treatment plant of Joint Stock Company Kuibyshevsky Oil Refinery)
Влажность Moisture content	%	82	67	78	83	99,5	72
Зольность Ash content	%	58	29	24	32	18	33
Объемная масса Bulk weight	т/м ³ t/m ³	1,02	1,03	1,01	1,08	1,01	1,06
Общий азот Total nitrogen	%	2,55	3,97	2,4	4,6	2,1	8,1
Общий фосфор Total phosphorus	%	1,2	1,65	0,9	1,8	0,65	2,32
Общий калий Total potassium	%	0,3	0,22	0,1	0,17	0,14	0,34
Коли-титр Coli index	мл ml	>10 ⁻⁷	>10 ⁻⁸	>10 ⁻⁹	>10 ⁻⁸	<10 ⁻⁶	>10 ⁻⁸
Яйца гельминтов Worm eggs	шт./кг items/kg	Отсутствуют None	До 50 Less than 50	До 50 Less than 50	До 20 Less than 50	Отсутствуют None	110
Кальций Calcium	мг/кг mg/kg	860	1237	178	112	18	1071
Магний Magnesium	мг/кг mg/kg	118	262	28	1220	26	550
Железо Ferrum	мг/кг mg/kg	1200	900	1400	8700	860	6300

Окончание Табл. 2 / End of the Table 2

Показатель Indicator	Единица измерения Measurement unit	Вид осадков и наименование станции аэрации / Type of sludge and aeration plants					
		Смесь СО и ИАИ после сбраживания в метантенках и сушки на иловых площадках (ОСК г. Тольятти) Mixed raw sludge and excessive activated sludge following digestion and dehydration in sludge drying beds (Togliatti treatment facilities)	Обезвоженная смесь СО и ИАИ после сушки на иловой площадке или фильтр-прессования (ГОКС г. Самары) Dehydrated mix of raw sludge and excessive activated sludge dried in sludge drying beds or press filtered (Samara urban sewage treatment plant)	СО после сушки на иловых площадках (КОС г. Кинеля) Raw sludge dehydrated in sludge drying beds (Kinel sewage treatment plant)	Смесь СО и ИАИ после сушки на иловых площадках КОС г. Жигулевска Mixed raw sludge and excessive activated sludge following dehydration in sludge drying beds of Zhigulevsk sewage treatment plant	ИАИ КОС ОАО «Новокуйбышевский НПЗ» Excessive activated sludge at Novokuibyshevsky sewage treatment plant	СО после центрифугирования (КОС АО КНПЗ) Centrifuge treated raw sludge (Sewage treatment plant of Joint Stock Company Kuibyshevsky Oil Refinery)
Цинк Zink	мг/кг mg/kg	150	86	114	2480	99	570
Медь Copper	мг/кг mg/kg	75	120	780	1150	510	736
Марганец Manganese	мг/кг mg/kg	110	253	410	970	Не определено Not identified	267
Кобальт Cobalt	мг/кг mg/kg	1,5	17,8	Не определено Not identified	5,9	Следы Traces	2,3
Бор Boracium	мг/кг mg/kg	13,1	30,1	Не определено Not identified	6,5	Не определено Not identified	Не определено Not identified
Молибден Molybdenum	мг/кг mg/kg	Следы Traces	2,2	Не определено Not identified	17	Не определено Not identified	Не определено Not identified
Свинец Lead	мг/кг mg/kg	106	51	580	111	1500	127
Никель Nickel	мг/кг mg/kg	14	2	29	280	115	17
Кадмий Cadmium	мг/кг mg/kg	1,1	Не обнаружено Not found	Не определено Not identified	Следы Traces	Следы Traces	0,8
Мышьяк Arsenium	мг/кг mg/kg	Не обнаружено Not found	Не обнаружено Not found	Не определено Not identified	Следы Traces	Следы Traces	Следы Traces
Ртуть Mercury	мг/кг mg/kg	Не обнаружено Not found	Не обнаружено Not found	Не определено Not identified	Не обнаружено Not found	Не обнаружено Not found	Не обнаружено Not found
Хром Chromium	мг/кг mg/kg	485	86	162	2970	405	1190
Нр		7,4	6,9	6,7	7,1	6,5	5,9

Табл. 3. Параметры оценки объектов, как многопараметрических систем
 Table 3. Parameters for evaluating objects as multi-parameter systems

Показатели Indicators	Единица измерения Measurement unit	Обозначение Symbols	Способы определения и методы исследований Means of identification and methods of research	Предмет оценки Subject of evaluation
<i>Экологические Ecological</i>				
Глубина залегания подземных вод Groundwater depth	м / m	$H_{г.в}$ $H_{г.в}$	1. Инженерно-геологические изыскания, анализ картографических материалов; 2. СП 11-102-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства»; 3. СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства»;	Геоэкологические особенности восстанавливаемых территорий Geo-ecological features of redevelopment areas
Защищенность подземных вод Safety of subterranean waters	Балл Point	$B_{з.п.к.}$ Point $_{з.п.к.}$	4. СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»; 5. ГОСТ 30416-2012 «Межгосударственный стандарт. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения»; 6. ГОСТ 5180-2015 «Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик»	
Коэффициент фильтрации грунтов Soil filtration coefficient	см/с cm/sec	$K_{ф}$ C_f	1. Geotechnical surveys; analysis of cartographic materials; 2. Construction Regulations 11-102-97 “Engineering and Ecological Surveys for Construction Purposes”; 3. Construction Regulations 11-102-97 “Engineering and Ecological Surveys for Construction Purposes”; 4. Construction Regulations 47.13330.2012 “Engineering Surveys for Construction Purposes. Basic Provisions”; 5. All-Russian State Standard 30416-2012 “Interstate Standard. Soils. Laboratory testing”; 6. All-Russian State Standard 5180-2015 “Interstate Standard. Soils. Laboratory methods of identification of physical characteristics”	
Индекс загрязненности геосреды Geo-environment pollution index	—	$Z_{г.п.к.}$ $Z_{g.p.i}$		
Коэффициент степени опасности осадков Sediment hazard coefficient	—	K_o K_{sed}	Приказ Министерства природных ресурсов РФ от 15.06.2001 № 511 «Об утверждении Критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды» Order of the RF Ministry of Natural Resources of June 15, 2001 № 511 “On Approval of Criteria for Attribution of Hazardous Waste to the Class That Is Hazardous for the Natural Environment”	Необходимость применения методов фазово-структурного концентрирования, биостабилизации и обезвреживания отходов в целом The need to apply methods of phase structure concentration, bio-stabilization, and de-contamination of any waste

Продолжение Табл. 3 / Continuation of the Table 3

Показатели Indicators	Единица измерения Measurement unit	Обозначение Symbols	Способы определения и методы исследований Means of identification and methods of research	Предмет оценки Subject of evaluation
<i>Экологические Ecological</i>				
Общий объем воды в единице осадка Total amount of water in the sediment unit	м ³ /т m ³ /t	$V_{\text{общ}}$ V_{tot}	ПНД Ф 16.2.2.2.3.3.27-02 «Методика выполнения измерений содержания влаги в твердых и жидких отходах производства и потребления, осадках, шламах, активном иле, донных отложениях гравиметрическим методом» Federal Nature Protection Regulations 16.2.2.2.3.3.27-02 «Methodology for Measuring Water Content in Solid and Liquid Production and Consumption Waste, Sediments, Sludges, Active Sludge, Bottom Sediments Using Gravimetric Method»	Необходимость применения методов фазово-структурного концентрирования, биостабилизации и обезвреживания отходов в целом The need to apply methods of phase structure concentration, bio-stabilization, and decontamination of any waste
Свободный объем воды в единице осадка Free amount of water in the sediment unit	м ³ /т m ³ /t	$V_{\text{своб}}$ V_{free}	1. ПНД Ф 14.1.2.5-95 «Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в природных и сточных водах методом ИКС»; 2. ПНД Ф 16.1.2.2.22-98 (2005) «Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии» 1. Federal Nature Protection Regulations 14.1.2.5-95 «Methodology for Measuring Mass Concentration of Oil Products in Natural and Sewage Water Using Method of Infrared Spectroscopy»; 2. Federal Nature Protection Regulations 16.1.2.2.22-98 (2005) «Methodology for Measuring the Mass Share of Oil Products in Soils and Bottom Sediments Using Method of Infrared Spectroscopy»	
Концентрация нефтепродуктов Concentration of oil products	%	$C_{\text{ин}}$ $C_{\text{оп}}$	ГОСТ 23740-79 «Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ» All-Russian State Standard 23740-79 «Soils. Laboratory methods of Identification of Organic Substances»	
Общее содержание органического вещества (ОВ) Total amount of organic substance	% масс. %mass	$O_{\text{общ}}$ O_{tot}		

Показатели Indicators	Единица измерения Measurement unit	Обозначение Symbols	Способы определения и методы исследований Means of identification and methods of research	Предмет оценки Subject of evaluation
<i>Экологические Ecological</i>				
Биоразлагаемое содержание ОВ Biodegradable content of organic substance	% масс. % mass	O_{opr} O_{org}	1. ПНД Ф 16.2.2.3.3.32-02 (с изм.) «Методика выполнения измерений содержания сухого и прокаленного остатка в твердых и жидких отходах производства и потребления, осадках, шламах, активном иле, донных отложениях гравиметрическим методом»; 2. Методика выполнения измерений массовой доли зольности (влажности) в твердых отходах гравиметрическим методом 1. Federal Nature Protection Regulations 16.2.2.3.3.32-02 (amended) "Methodology of Measuring the Dry and Ignited Residues in Solid and Liquid Production and Consumption Wastes, Sediments, Sludges, Active Sludge, Bottom Sediments Using Gravimetric Method"; 2. Methodology of Measuring the Mass Share of Ash, Water Content (Humidity) in Solid Wastes Using Gravimetric Method	Необходимость применения методов фазово-структурного концентрирования, биостабилизации и обезвреживания отходов в целом The need to apply methods of phase structure concentration, bio-stabilization, and decontamination of any waste
<i>Ресурсные Resource-related</i>				
Объем осадков Sediment amount	м ³ m ³	V_{oc} V_{sed}	Анализ фондовых, картографических материалов; результатов инженерных изысканий прошлых лет Analysis of archive, cartographic materials; findings of earlier engineering surveys	Ресурсная способность очистных сооружений, как источника производства ГРМ The resource capacity of treatment facilities as a source of reclaimed soil-like materials
Потребный объем рекультивационных материалов Required amount of reclamation materials	м ³ m ³	$V_{рек}$ V_{rec}		
Общая площадь КОС Total area of the treatment facility	га hectares	$S_{кос}$ S_{tf}		
Общая площадь нарушенных осадками территорий Total area of precipitation-disturbed territories	га hectares	S_n S_d		

Система отбора ОС в качестве площадок создания комплексов утилизации ОСВ базируется на основе использования критериев, как соотношения отдельных параметров, представленных в табл. 3.

Предлагаемые критерии включают набор индексов. Первые три индекса оценивают ОС как потенциальную площадку создания предприятия по обработке и утилизации осадков. Последующие два индекса оценивают осадки ОС как потенциальное сырье для производства ГРМ.

Критерии, оценивающие очистные сооружения

1. Индекс деградации территории, выступающий показателем соотношения площади, деградированной иловыми картами или накопителями, к общей площади ОС. $I_{\text{дег}}$ показывает, насколько площадь отрицательного влияния отхода на геосреду превышает площадь источника деградации.

2. Индекс потенциальной рекультивирующей способности ОС ($I_{\text{рек}} = V_{\text{ос}}/V_{\text{рек}}$). Значения $I_{\text{рек}}$, колеблющиеся по опыту [11] в границе диапазона от 0,1 до 1,0, показывают на возможность использования осадка в качестве потенциальных грунтозамещающих материалов на выделенной территории в зоне влияния КОС.

Косвенно, значение $I_{\text{рек}}$ коррелирует с соотношением годового объема свежих осадков ко всему объему осадков в границах КОС, накопленных за весь жизненный цикл их эксплуатации.

3. Инфраструктурный индекс $I_{\text{инф}}$ определяет степень развитости объектов обработки ОСВ и логистических узлов первичной переработки и транспорта осадка и ГРМ.

$I_{\text{инф}}$ определен в настоящей работе качественно с использованием методов экспертной оценки в диапазоне условных баллов от 0–10. За 0 принимается отсутствие на КОС сооружений обработки и утилизации осадков; за 10 — наличие максимально полного состава сооружений обезвоживания, минерализации и детоксикации осадков на КОС.

Критерии, оценивающие состояние осадков

4. Индекс способности осадков к фазово-дисперсному концентрированию ($I_{\text{ФДК}} = V_{\text{св}}/V_{\text{общ}}$) — как отношение объема свободной воды в осадке к общему объему воды, включающему и связанную. Индекс указывает на способность осадка к разделению как в условиях естественной сушки, так и принудительно, в том числе и с применением реагентов.

По опыту исследования отходов в СамГТУ, а также анализа литературных данных, $I_{\text{ФДК}}$ колеблется в диапазонах значений от 0,2–0,5; 0,5–0,7; 0,7–1,0. При этом меньшее значение характерно для осадков, содержащих повышенное значение жидкой фазы. Как правило, к таким осадкам относят осадки первичных отстойников, смеси с избыточными илами. Большее значение относится к анаэробно-сброженным осадкам, отдельным фрагментам за-

старелых, техногенных образований в накопителях и на иловых площадках [12].

5. Индекс стабилизации $I_{\text{ст}} = O_{\text{орг}}/O_{\text{общ}}$ указывает на способность осадка к минерализации, в том числе в естественных условиях, при контакте с биотическим фактором среды — аборигенной компостной и почвенной микрофлорой.

Кроме того, $I_{\text{ст}}$ оценивает способность к биохимическому разложению применительно к возможности использования метода компостирования, как наиболее приближенного к биопозитивным технологиям [13, 14].

$I_{\text{ст}}$ оценивается соотношением объемов легко-разлагаемых органических соединений в осадке, разрушаемых микробиологическим путем, к общему объему органики.

Опыт, накопленный исследователями в области биодеструкции и химической деструкции органики в контролируемых условиях, а также анализ способности широкого спектра соединений к разложению показывают, что диапазон значений $I_{\text{ст}}$ лежит в пределах от 0,1 до 0,9 [15].

Представленный набор индексов был использован в настоящей работе для критериальной оценки пригодности вовлечения осадков КОС в грунтозамещающие материалы.

Данная оценка продемонстрировала, что и КОС, и осадки, являются сложными многокомпонентными и многофакторными системами. Выбрать технологию и последовательность методов утилизации осадков, а также показать, на каком ОС данный набор методов предпочтителен, затруднительно ввиду сложности установления, какие критерии служат диктующими, а какие второстепенными. Поэтому важным инструментом установления соответствия направления подготовки осадков выделенному уровню технологической сложности и особенностям конкретного типа ОС выступает математический аппарат обработки параметрических данных или МГК [16].

До сегодняшнего дня в контексте оценки системы «очистные сооружения – осадки сточных вод» МГК не применялся.

Основа МГК — массив данных, включающий значения всех вышеперечисленных критериев.

МГК позволяет центрировать полученные результаты в облаке их рассеивания, а также определить наиболее значимые переменные, дельта которых имеет наибольшее значение. При этом информативность данных не изменится [17–19].

Для проведения анализа многомерных данных применен пакет математических программ Unscrambler® [20]. На основе экспериментальных исследований был сформирован набор исходных сведений с целью анализа в виде матрицы X , фрагмент которой приведен в табл. 4. Матрица X размерностью $I \times J$ состоит из 20 образцов (I) и 5 переменных (J) (см. табл. 4). В качестве образцов выступают

Табл. 4. Очистные сооружения — объекты исследования с различной критериально-параметрической характеристикой состояния территорий и осадков

Table 4. Wastewater treatment facilities as research objects featuring different parametric criteria characteristics of territories and precipitation

№ No.	КОС Treatment facility	Критерии оценки состояния очистных сооружений и осадков Criteria for the evaluation of the state of treatment facilities and sediments					Область пригодности КОС к созданию комплекса утилизации ОСВ Applicability of treatment facilities to the establishment of a wastewater sludge reclamation facility
		$I_{\text{дет}} = \frac{S_n}{S_{\text{КОС}}}$ $I_{\text{дегр}} = \frac{S_n}{S_{\text{тр.фас}}}$	$I_{\text{рек}} = \frac{V_{\text{ос}}}{V_{\text{рек}}}$ $I_{\text{rec}} = \frac{V_{\text{ос}}}{V_{\text{rec}}}$	$I_{\text{инф}}$ I_{inf}	$I_{\text{ФДК}} = \frac{V_{\text{св}}}{V_{\text{общ}}}$ $I_{\text{FDC}} = \frac{V_{\text{фр}}}{V_{\text{tot}}}$	$I_{\text{ст}} = \frac{O_{\text{био}}}{O_{\text{общ}}}$ $I_{\text{st}} = \frac{O_{\text{био}}}{O_{\text{tot}}}$	
1	г. Самара Samara	0,36	0,15	8,0	0,12	0,35	++
2	г. Тольятти Togliatti	0,32	0,17	6,0	0,18	0,38	++
3	г. Сызрань Syzran	0,40	0,11	9,5	0,15	0,15	++
4	г. Чапаевск Chapaevsk	0,36	0,18	6,0	0,16	0,37	+
5	г. Отрадный Otradniy	0,38	0,12	7,5	0,12	0,16	–
6	г. Жигулевск Zhigulevsk	0,37	0,45	6,5	0,12	0,9	–
7	г. Похвистнево Pokhvistnevo	0,36	0,12	8,5	0,18	0,21	+
8	г. Октябрьск Okt'yabrsk	0,35	0,10	9,5	0,11	0,17	–
9	г. Кинель Kinel	0,31	0,34	7,0	0,10	0,51	+
10	г. Нефтегорск Neftegorsk	0,28	0,6	9,0	0,12	1,45	+
11	пгт. Безенчук Bezenchuk urban-type locality	0,26	0,56	8,0	0,15	1,30	++
12	с. Кинель-Черкассы Kinel-Cherkassy	0,28	0,47	6,6	0,16	1,10	–
13	Сергиевск Sergievsk	0,24	0,45	8,0	0,24	0,9	–
14	ОАО «Новокуйбышевский НПЗ» Novokuibyshevskiy Oil Refinery open joint stock company	0,18	0,18	7,0	0,22	0,37	+
15	ОАО «Куйбышевский НПЗ» Kuibyshevskiy Oil Refinery open joint stock company	0,16	0,09	6,0	0,22	0,1	–

Окончание Табл. 4 / Continuation of the Table 4

№ No.	КОС Treatment facility	Критерии оценки состояния очистных сооружений и осадков Criteria for the evaluation of the state of treatment facilities and sediments					Область пригодности КОС к созданию комплекса утилизации ОСВ Applicability of treatment facilities to the establishment of a wastewater sludge reclamation facility
		$I_{дер} = (S_n/S_{КОС})$ $I_{дегр} = (S_n/S_{тр.фас})$	$I_{рек} = V_{ос}/V_{рек}$ $I_{rec} = V_{ос}/V_{rec}$	$I_{инф}$ I_{inf}	$I_{ФДК} = V_{св}/V_{общ}$ $I_{FDC} = V_{св}/V_{tot}$	$I_{ст} = O_{био}/O_{общ}$ $I_{st} = O_{био}/O_{tot}$	
16	ОАО «Сызранский НПЗ» Syzranskiy Oil Refinery open joint stock company	0,11	0,29	7,0	0,21	0,54	++
17	АООТ «Тольяттиазот» Joint stock company of the open type Togliattiazot	0,12	0,51	8,5	0,28	0,87	+
18	ООО «СИБУР Тольятти» SIBUR Togliatti limited liability company	0,12	0,19	6,0	0,34	0,25	+
19	ОАО «Новокуйбышевская НХК» Novokuibyshevskaya Petrochemical Company, open joint stock company	0,14	0,48	7,0	0,35	0,79	+
20	ОАО «Новокуйбышевская ТФ» Novokuibyshevskaya Trade Firm, Open Joint Stock Company	0,12	0,53	7,5	0,40	1,40	++

ОС (табл. 1), переменных — группы критериев (индексов), характеризующих как каждое ОС в отдельности, так и все объекты вместе.

Исходные сведения, прошедшие стадию предварительной подготовки, в ходе которой осуществлялись процедуры центрирования и шкалирования, анализировались с помощью МГК. Результаты построенной МГК-модели отображаются на графиках счетов и нагрузок. Эти графики характеризуют взаимосвязь между месторождениями и оценивающими их параметрами.

С учетом общей остаточной дисперсии было построено 3 главных компоненты, общая объясненная дисперсия которых составила 90 %. В работе рассматриваются 1 и 4 главные компоненты (рис. 1, 2), остальные компоненты не приводятся по причине низкой информативности относительно выполняемой задачи.

График МГК-счетов или «карта образцов» показывает расположение территорий исследуемых очистных сооружений в поле 1 и 4 главных компонент (рис. 2).

На графике счетов видно условное разделение образцов на три группы: рациональную (I), условно рациональную (II) и нерациональную (III), применительно к освоению территорий выбранных

КОС в качестве площадок для строительства предприятий по производству ГРМ. Области выделены на основании расположения ОС относительно осей и начала координат, разделяющих объекты на группы со сходными характеристиками, отображенными на графике нагрузок.

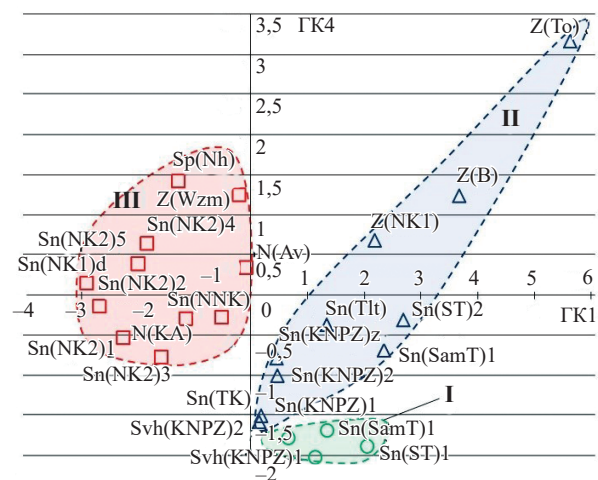


Рис. 1. График счетов

Fig. 1. Chart of accounts based on the method of principal components

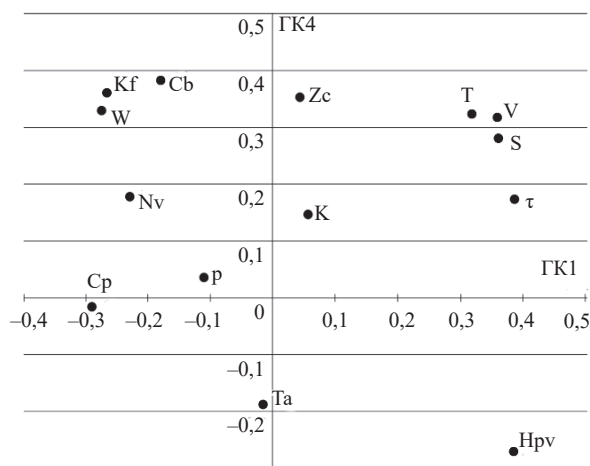


Рис. 2. График нагрузок

Fig. 2. Load graph

График нагрузок (рис. 2) показывает, какой вклад вносит каждый из показателей в распределение ОС по группам возможности строительного освоения территорий. На нем можно увидеть влияние каждого из показателей на положение компоненты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из 20 площадок ОС, подвергнутых отбору, в рациональную область вошли 6 объектов (отмечено знаком ++): КОС г. Самары, Тольятти, Сызрани, пгт. Безенчук, а также станции аэрации Сызранского НПЗ и бывшей Новокуйбышевской трикотажной фабрики. Совместный анализ графиков счетов и нагрузок продемонстрировал, что эти объекты характеризуются развитой инженерной инфраструктурой, полным набором сооружений механикобиологической ОСВ, резервом территорий для строительства. Со-

став осадков сбалансирован по содержанию биогенных элементов, и присутствует источник инокулирующей микрофлоры — активный ил с высоким приростом. Влажность и содержание беззольного вещества позволяют использовать осадки данных КОС в качестве ГРМ после предварительной обработки в составе проектируемого комплекса

В условно рациональную область (знак +) вошли объекты, на территории которых создание комплексов обработки и утилизации осадков требует предварительного геоэкологического обоснования. В частности, для шести объектов — ОС г. Чапаевска, Кинеля, Нефтегорска, станций аэрации Новокуйбышевского НПЗ, ТольяттиАзота, ООО «СИБУР Тольятти» необходимо выделение дополнительных мощностей и территорий под сооружения обработки осадков, а также их дополнительного обезвреживания для иммобилизации специфических загрязнений.

В нерациональной области сгруппированы объекты, ресурсная способность которых недостаточна для создания эффективных производств. Объемы осадков, отсутствие современных сооружений их подготовки и территорий резервного строительства, а также близко расположенных акцепторов утилизации препятствуют созданию комплексов подготовки ОСВ. Наиболее предпочтительным здесь выступает создание промежуточных узлов механического обезвреживания с последующим вывозом полупродуктов на комплексы, строительство которых возможно в рамках объектов рациональной и условно рациональной областей.

Системный подход дает возможность позиционировать сооружения обработки ОСВ на КОС, расположенных в рациональной и условно рациональных областях освоения, и наметить технологические схемы наиболее глубокого вовлечения осадков в утилизацию.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Быков Д.Е., Чертес К.Л., Тупицына О.В., Щербина Е.В., Савельев А.А. Обеспечение геоэкологической устойчивости массивов коммунальных отходов для их строительного освоения // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. № 8. С. 4–11. DOI: 10.18412/1816-0395-2016-8-4-11
2. Shi P., Yang T., Zhang K., Tang Q., Yu Z., Zhou X. Large-scale climate patterns and precipitation in an arid endorheic region: linkage and underlying mechanism // Environmental Research Letters. 2016. Vol. 11. Issue 4. P. 044006. DOI: 10.1088/1748-9326/11/4/044006
3. Teoh S.K., Li L.Y. Feasibility of alternative sewage sludge treatment methods from a lifecycle assessment (LCA) perspective // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 247. Issue 3. P. 119495. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119495
4. Мусаев А.А., Никитин В.А., Тураносов А.В. Контроль технологического процесса первичной переработки нефти на основе метода главных компонент // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2011. № 10. С. 3–6.
5. Монахова Ю.Б., Цикин А.М., Муштакова С.П. Обработка ЯМР-, УФ- и ИК-спектрометрических данных перед хемометрическим моделированием методами независимых и главных компонент // Журнал аналитической химии. 2016. Т. 71. № 6. С. 582–588. DOI: 10.7868/S0044450216060128
6. Efimov V.M., Efimov K.V., Kovaleva V.Y. Principal component analysis and its generalizations for any type of sequence (PCA-Seq) // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019. Vol. 23. Issue 8. Pp. 1032–1036. DOI 10.18699/VJ19.584

7. *Быков Д.Е.* Разработка комплексной многоуровневой системы исследования и технологий переработки гетерофазных промышленных отходов : дисс. ... д-ра техн. наук. Самара, 2004. 303 с.
8. *Чертес К.Л.* Комплексная система подготовки и размещения органо-минеральных отходов в отработанных карьерах : дисс. ... д-ра техн. наук. Самара, 2006. 280 с.
9. *Тупицына О.В.* Оценка и восстановление природно-техногенных систем, нарушенных строительной-хозяйственной деятельностью : дисс. ... д-ра техн. наук. М., 2014. 323 с.
10. *Чертес К.Л., Тупицына О.В., Пыстин В.Н.* Геоэкологическая оценка накопителей шламов водного хозяйства и разработка технологий их ликвидации // Вестник МГСУ. 2015. № 2. С. 110–129. DOI : 10.22227/1997-0935.2015.2.110-129
11. *Домнин Д.А.* Геоинформационная система для индикаторов геоэкологической оценки состояния водосборных бассейнов Калининградской области // Естественные и технические науки. 2014. № 11–12 (78). С. 193–198.
12. *Ксенофонтов Б.С.* Утилизация осадков сточных вод путем компостирования с торфом // Экология промышленного производства. 2020. № 2 (110). С. 20–24.
13. *Smidt E., Binner E., Lechner P.* Humic acid formation in composts — the role of microbial activity // European Symposium on Environmental Biotechnology. 2004. Pp. 143–146.
14. *Smidt E., Binner E., Meissl K., Tintner J.* Compost quality — trends and tools // BOKU Waste Conference. 2007. Pp. 56–61.
15. *Ларионов С.Ю., Пантелеев А.А., Рябчиков Б.Е., Шилов М.М., Касаточкин А.С.* Очистка питьевой воды подземных источников от хлорорганических соединений // Водоснабжение и сантехника. 2015. № 4. С. 12–21.
16. *Esbensen K., Kirsanov D., Legin A., Rudnitskaya A., Mortensen J., Pedersen J. et al.* Fermentation monitoring using multisensor systems: feasibility study of the electronic tongue // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2004. Vol. 378. Issue 2. Pp. 391–395. DOI: 10.1007/s00216-003-2299-x
17. *Kaale E., Van Schepdael A., Roets E., Hoogmartens J.* Development and validation of a simple capillary zone electrophoresis method for the analysis of kanamycin sulfate with uv detection after pre-capillary derivatization // Journal of Chromatography A. 2001. Vol. 924. Issue 1–2. Pp. 451–458. DOI: 10.1016/s0021-9673(01)00774-9
18. *Chen Y., Dai L.* A method for quantitative analysis of a key component in complex mixtures using Raman spectroscopy based on peak decomposition // Analytical Sciences. 2018. Vol. 35. Issue 5. Pp. 511–515. DOI: 10.2116/analsci.18P486
19. *Krasnyanskiy M.N., Dedov D.L., Obukhov A.D., Alekseev S.Y.* Visualization technology and tool selection methods for solving ATC structural-parametric synthesis problems // Journal of Computing and Information Science in Engineering. 2019. Vol. 20. Issue 4. P. 041001. DOI: 10.1115/1.4045289
20. *Esbensen K.H., Rodionova O.Ye.* Foreword — chemometrics in Russia: The first five-year plan fulfilled // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 2007. Vol. 88. Issue 1. Pp. 1–2. DOI: 10.1016/j.chemolab.2006.12.001

Поступила в редакцию 27 января 2022 г.

Принята в доработанном виде 24 февраля 2022 г.

Одобрена для публикации 24 февраля 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Константин Львович Чертес** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической технологии и промышленной экологии, член-корреспондент РАЕН; **Самарский государственный технический университет (СамГТУ)**; 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244; РИНЦ ID: 185126, Scopus: 16308870400, ORCID: 0000-0002-3353-4768; chertes2007@yandex.ru;

Ольга Владимировна Тупицына — доктор технических наук, профессор, доцент, заведующая кафедрой химической технологии и промышленной экологии; **Самарский государственный технический университет (СамГТУ)**; 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244; РИНЦ ID: 185125, Scopus: 57209210925, ResearcherID: E-1153-2014, ORCID: 0000-0003-0638-2700; Olgatupicyna@yandex.ru;

Виталий Николаевич Пыстин — кандидат технических наук, доцент кафедры химической технологии и промышленной экологии; **Самарский государственный технический университет (СамГТУ)**; 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244; РИНЦ ID: 741101, Scopus: 57192370017, ResearcherID: D-8410-2014, ORCID: 0000-0002-4027-1804; Vitaliy.pystin@yandex.ru;

Николай Игоревич Шестаков — кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 2893-7386, Scopus: 57205023447, ORCID: 0000-0002-6809-4993; SHestakovNI@mgsu.ru;

Артем Петрович Сеялко — студент; **Самарский государственный технический университет (СамГТУ)**; 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244; ORCID: 0000-0002-8360-4138; artem-seyanko@mail.ru;

Дмитрий Евгеньевич Быков — доктор технических наук, профессор, ректор; Самарский государственный технический университет (СамГТУ); 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244; РИНЦ ID: 185043; rector@samgtu.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Bykov D.E., Chertes K.L., Tupitsyna O.V., Shcherbina E.V., Saveliev A.A. Ensuring the geoeological stability of massifs of municipal waste for their construction and economic development. *Ecology and Industry of Russia*. 2016; 20(8):4-11. DOI: 10.18412/1816-0395-2016-8-4-11 (rus.).
2. Shi P., Yang T., Zhang K., Tang Q., Yu Z., Zhou X. Large-scale climate patterns and precipitation in an arid endorheic region: linkage and underlying mechanism. *Environmental Research Letters*. 2016; 11(4):044006. DOI: 10.1088/1748-9326/11/4/044006
3. Teoh S.K., Li L.Y. Feasibility of alternative sewage sludge treatment methods from a lifecycle assessment (LCA) perspective. *Journal of Cleaner Production*. 2019; 247(3):119495. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119495
4. Musaev A.A., Nikitin V.A., Turanosov A.V. Control of the technological process of primary oil refining based on the method of principal components. *Oil refining and petrochemistry. Scientific and technical achievements and best practices*. 2011; 10:3-6. (rus.).
5. Monakhova Y.B., Tsikin A.M., Mushtakova S.P. Processing of NMR, UV, and IR spectrometric data prior to chemometric simulation by independent component and principal component analysis. *Journal of Analytical Chemistry*. 2016; 71(6):582-588. DOI: 10.7868/S0044450216060128 (rus.).
6. Efimov V.M., Efimov K.V., Kovaleva V.Y. Principal component analysis and its generalizations for any type of sequence (PCA-Seq). *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019; 23(8):1032-1036. DOI: 10.18699/VJ19.584
7. Bykov D.E. *Development of an integrated multi-level system for research and processing technologies for heterophase industrial waste : diss ... doc. tech. sciences*. Samara, 2004; 303. (rus.).
8. Chertes K.L. *Integrated system for the preparation and placement of organo-mineral waste in worked-out quarries : diss. ... doc. tech. sciences*. Samara, 2006; 280. (rus.).
9. Tupitsyna O.V. *Assessment and restoration of natural-technogenic systems disturbed by construction and economic activities : diss. ... doc. tech. sciences*. Moscow, 2014; 323. (rus.).
10. Chertes K.L., Tupitsyna O.V., Pystin V.N. Geoeological evaluation of water industry sludge ponds and developing the techniques of their disposal. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2015; 2:110-129. DOI: 10.22227/1997-0935.2015.2.110-129 (rus.).
11. Domnin D.A. Geoinformation system for indicators of geoeological assessment of the state of watersheds in the Kaliningrad region. *Natural and Technical Sciences*. 2014; 11-12(78):193-198. (rus.).
12. Ksenofontov B.S. Waste water sludge utilization by composting with peat. *Industrial Ecology*. 2020; 2(110):20-24. (rus.).
13. Smidt E., Binner E., Lechner P. Humic acid formation in composts — the role of microbial activity. *European Symposium on Environmental Biotechnology*. 2004; 143-146.
14. Smidt E., Binner E., Meissl K., Tintner J. Compost quality — trends and tools. *BOKU Waste Conference*. 2007; 56-61.
15. Larionov S.I., Pantelev A.A., Riabchikov B.E., Shilov M.M., Kasatochkin A.S. Cleaning up underground water from chlororganic compounds. *Water Supply and Sanitary Engineering*. 2015; 4:12-21. (rus.).
16. Esbensen K., Kirsanov D., Legin A., Rudnitskaya A., Mortensen J., Pedersen J. et al. Fermentation monitoring using multisensor systems: feasibility study of the electronic tongue. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2004; 378(2):391-395. DOI: 10.1007/s00216-003-2299-x
17. Kaale E., Van Schepdael A., Roets E., Hoogmartens J. Development and validation of a simple capillary zone electrophoresis method for the analysis of kanamycin sulfate with uv detection after pre-capillary derivatization. *Journal of Chromatography A*. 2001; 924(1-2):451-458. DOI: 10.1016/S0021-9673(01)00774-9
18. Chen Y., Dai L. A method for quantitative analysis of a key component in complex mixtures using Raman spectroscopy based on peak decomposition. *Analytical Sciences*. 2018; 35(5):511-515. DOI: 10.2116/analsci.18P486
19. Krasnyanskiy M.N., Dedov D.L., Obukhov A.D., Alekseev S.Y. Visualization technology and tool selection methods for solving ATC structural-parametric synthesis problems. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. 2019; 20(4):041001. DOI: 10.1115/1.4045289
20. Esbensen K.H., Rodionova O.Ye. Foreword — chemometrics in Russia: the first five-year plan fulfilled. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2007; 88(1):1-2. DOI: 10.1016/j.chemolab.2006.12.001

Received January 27, 2022.

Adopted in revised form on February 24, 2022.

Approved for publication on February 25, 2022.

B I O N O T E S: **Konstantin L. Chertes** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Chemical Technology and Industrial Ecology, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences; **Samara State Technical University (SSTU)**; 244 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; ID RISC: 185126, Scopus: 16308870400, ORCID: 0000-0002-3353-4768; chertes2007@yandex.ru;

Olga V. Tupitsyna — Doctor of Technical Sciences, Professor, Associate Professor, Head of the Department of Chemical Technology and Industrial Ecology; **Samara State Technical University (SSTU)**; 244 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; ID RISC: 185125, Scopus: 57209210925, ResearcherID: E-1153-2014, ORCID: 0000-0003-0638-2700; Olgatupicyna@yandex.ru;

Vitaliy N. Pystin — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technology and Industrial Ecology; **Samara State Technical University (SSTU)**; 244 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; ID RISC: 741101, Scopus: 57192370017, ResearcherID: D-8410-2014, ORCID: 0000-0002-4027-1804; Vitaliy.pystin@yandex.ru;

Nikolay I. Shestakov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Materials Science; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 2893-7386, Scopus: 57205023447, ORCID: 0000-0002-6809-4993; SHeStakovNI@mgsu.ru;

Artem P. Seyanko — student; **Samara State Technical University (SSTU)**; 244 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-8360-4138; artem-seyanko@mail.ru;

Dmitry E. Bykov — Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector; **Samara State Technical University (SSTU)**; 244 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; ID RISC: 185043; rector@samgtu.ru.

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

The authors declare that they have no conflicts of interest.

Heat transient processes identification of the elements of internal environment system

Rustam Sh. Mansurov¹, Yuri E. Voskoboinikov^{1,2}, Vasilisa A. Boeva¹

¹ Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin);
Novosibirsk, Russian Federation;

² Novosibirsk State Technical University; Novosibirsk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The study of heat exchange transients in the climate system "Heater-Ventilator-Room", when ventilator capacity varies step-wise, is presented. The construction of functional relations between inputs and outputs of the system is the object of special attention. This allows for a non-parametric identification of impulse responses in the system for simulation and control.

Materials and methods. The climate system is represented by a combination of several different-type elements with step inputs and experimental data as outputs. Mathematical models of the elements are governed by Volterra integral equation of the 2nd kind. Solution of this equation is an ill-posed problem, and specifics of identification experiments do not allow applying computational methods of classical regularization algorithms. A non-parametric identification of impulse responses for the elements is performed by the authors' stable algorithm with due regard for real technical systems specifics. The algorithm is founded on stable differentiation by smoothing cubic splines with optimal smoothing parameter estimation and special type boundary conditions.

Results. Non-parametric identification algorithm is adapted for the investigated climate system. The inverse problems of impulse responses identification and the direct problems of heat flux reactions prediction are solved. A high convergence of theoretical and experimental data is shown.

Conclusions. The behavior of the transients is predictable for the climate system under the particular operation mode. The algorithm proposed takes proper account of practical problems specifics. The results obtained suggest the efficiency of the algorithm for applied identification problems solutions in real complex technical systems.

KEYWORDS: climate system, transient process, relative excess heat, non-parametric identification problem, Volterra integral equation of the 2nd kind, stable identification algorithm, smoothing cubic splines, combined boundary conditions, optimal smoothing parameter estimation when the measurement noise variance is undefined

Acknowledgements: The reported study was funded by RFBR, project number 20-38-90041.

FOR CITATION: Mansurov R.Sh., Voskoboinikov Yu.E., Boeva V.A. Heat transient processes identification of the element-sof internal environment system. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(2):222-231. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.222-231 (rus.).

Corresponding author: Vasilisa A. Boeva, v.bojeva@sibstrin.ru

Идентификация переходных процессов теплообмена элементов системы обеспечения микроклимата

Рустам Шамильевич Мансуров¹, Юрий Евгеньевич Воскобойников^{1,2},
Василиса Андреевна Боева¹

¹ Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин);
г. Новосибирск, Россия;

² Новосибирский государственный технический университет (НГТУ); г. Новосибирск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Выполнено исследование переходных процессов теплообмена в климатической системе «воздухонагреватель-вентилятор-помещение» при скачкообразном изменении объемной производительности на вентиляторе. Особое внимание уделяется изучению функциональных связей между входными и выходными характеристиками системы. Это позволяет провести непараметрическую идентификацию импульсных переходных функций элементов климатической системы для дальнейшего моделирования и управления.

Материалы и методы. Изучаемая климатическая система рассматривается в виде комбинации нескольких разнотипных элементов со скачкообразными входными и выходными сигналами, представленными зашумленными экспериментальными данными. Математические модели элементов системы описываются интегральным уравнением Вольтерры второго рода. Решение этого уравнения является некорректно поставленной задачей. Специфика эксперимента по идентификации не дает возможность использовать для решения вычислительные схемы классических

регуляризирующих алгоритмов. Непараметрическая идентификация импульсных переходных функций элементов климатической системы выполняется разработанным авторами устойчивым алгоритмом, способным учитывать специфические особенности реальных технических систем. Построение алгоритма основано на вычислении устойчивых производных и интеграла свертки сглаживающими кубическими сплайнами с подбором оптимального параметра сглаживания и специальными краевыми условиями.

Результаты. Приведен авторский алгоритм непараметрической идентификации, адаптированный для работы с исследуемой климатической системой. Решены обратные задачи идентификации импульсных переходных функций и прямые задачи прогнозирования реакций теплового потока. Показано высокое соответствие теоретических и экспериментальных характеристик.

Выводы. Анализ полученных результатов показал, что поведение рассматриваемых переходных процессов предсказуемо и характерно для данного режима работы климатической системы. Предложенный алгоритм непараметрической идентификации способен учитывать специфические особенности практических задач и экспериментальных данных и может быть применен при решении прикладных задач идентификации в реальных технических системах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: климатическая система, переходный процесс, относительная избыточная теплота, задача непараметрической идентификации, интегральное уравнение Вольтерры второго рода, устойчивый алгоритм идентификации, сглаживающие кубические сплайны, комбинированные краевые условия, оценивание оптимального параметра сглаживания при неизвестной дисперсии шумов измерений

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 20-38-90041.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мансуров Р.Ш., Воскобойников Ю.Е., Боева В.А. Heat transient processes identification of the elements of internal environment system // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 2. С. 222–231. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.222-231

Автор, ответственный за переписку: Василиса Андреевна Боева, v.boyeva@sibstrin.ru

INTRODUCTION

When building operation and maintenance, a number of problems of great importance are solved to provide comfortable conditions in rooms. Among the problems are development, control and optimization of internal environment systems and microclimate stabilization in rooms between the preset values on exposure to internal or external thermal agitations. The quality of climate parameters and stability of a system are defined by system response on the agitations arising named a transient process, or simply a transient [1]. Non-parametric identification of dynamic transients in the elements of the researchable system is an initial crucial phase for all of these problems.

Transients study in the climate system “Heater – Ventilator – Room” appears as response prediction of the one of climate system element on agitation caused by another element [1]. Construction of functional relations between the input and output values of the element allows for a non-parametric identification of the impulse responses, but it requires to formulate the reliable mathematical model in various dynamic states [2].

Conventionally, mathematical models for various technical processes and states of an element are presented as differential equations. In recent times, energy specialists tend to reject this approach because it either does not respond for some properties of the element or simply is unrealizable [3]. At present, more universal integral models are actively used which successfully serve as applications in experimental data processing, automation control theory, filtration and restoration of signals and images, computed tomography and optimization [4–10]. The advantages of the integral equations include compactness in the description of dynamic systems, the natural practical content of the kernels of the equation as reactions to typical input agitations,

and high stability of the numerical implementation. But the main problem that arises when solving integral equations is related to the conventional correctness of their solutions. Classical regularizing algorithms, such as methods of Runge-Kutta type, h-regularization methods (by Tichonov, Apartsyn, Bakushinsky, Denisov etc.), different quadrature methods, Wiener-Kalman method etc., do not take into account the features of real objects and practical problems.

Thus, the development of stable identification algorithms for the practical problems with experimental initial data is not only relevant for applications, but also has a theoretical significance in the development of computational methods of ill-posed problems under incomplete a priori information.

The purpose of the research is to study responses behavior of the elements of the climate system “Heater-Ventilator-Room” and calculate the responses mathematically by a priori information about the experimental observational data. The accompanying objectives are:

- to construct the functional relations in the climate system in input-output terms and formulate the reliable mathematical model;
- to detect behavior specifics of climate system signals under the definite operation mode;
- to perform a non-parametric identification of the impulse responses of the elements by the authors’ algorithm;
- to solve the direct prediction problems of the theoretical responses on internal or external agitations;
- to study the behavior of the theoretical responses in comparison with the experimental data.

To solve the objectives, the authors use methods and algorithms self-developed reported in [11–13]. This paper represents the application of these methods and algorithms in terms of experiments reported in [1, 2, 14].

MATERIALS AND METHODS

Heat exchange transients are investigated in the climate system “Heater-Ventilator-Room”, considered in detail in [14], when ventilator capacity varies step-wise from 0.6 to 0.7 (from 42 to 49 Hz) in fractions of maximum controller frequency, and the heater is inactive and characterizes by zero constant capacity. In this operation mode, the ventilator is an active element, the heater is a reactive element, and the transients in the system are actuated by ventilator capacity step.

On Fig. 1 [1] functional block diagram of the investigated climate system is shown. Heater capacity is operated by the triac capacity controller *AW*, and ventilator capacity is operated by frequency current converter *AF*. The parameters registered from sensors in the system are:

- dust heat flow rate *u*;
- pressure differential across the ventilator ΔP ;
- dust relative humidity φ_{rel} ;
- heater input temperature T_1 ;
- heater output temperature T_2 ;
- room input temperature T_3 ;
- room output temperature T_4 .

The parameters of heat flux state were registered at the dust inspection points at 1 s intervals.

Fig. 2 depicts the circulation of heat fluxes generated/absorbed by a moist air flux through the elements

of the climate system [14]. The air mass flow, while experimental data processing, is defined as $G = \rho(T_3)uF$, where F , m², is the sectional area of an air duct at the location points of velocity u and temperature T_3 sensors; $\rho(T_3)$, kg/m³, is dry air density at T_3 temperature. The heat absorbed by the heat flux from the heater is defined as $Q_h = c_a G \Delta T_r$, $\Delta T_h = T_2 - T_1$, from the ventilator as $Q_v = c_a G \Delta T_v$, $\Delta T_v = T_3 - T_2$, from the control subsystem as $Q_s = c_a G \Delta T_s$, $\Delta T_s = T_3 - T_1$, where c_a is air thermal capacity. The heat assimilated and accumulated by the heat flux at room air space is defined as $Q_r = c_a G \Delta T_r$, where $\Delta T_r = T_4 - T_3$. Heat injection to the environment from the room is defined as $Q_e = c_a G \Delta T_e$, where $\Delta T_e = T_4 - T_1$.

According to [14], a similarity parameter that describes transitions in the climate system is relative excess heat Q_i^r . This characteristic involves contribution of all heat flux parameters and defined by

$$Q_i^r = \frac{Q_i(\tau) - Q(0)}{|Q_i(\tau_*) - Q_i(0)|}, i = 1 \dots 4, \quad (1)$$

where Q_i^r for $i = 1$ is the relative excess heat Q_h^r generated/absorbed by the moist air flux through the heater; for $i = 2$ is the relative excess heat Q_v^r generated/absorbed by the moist air flux through the ventilator; for $i = 3$ is the relative excess heat Q_r^r assimilated by the heat

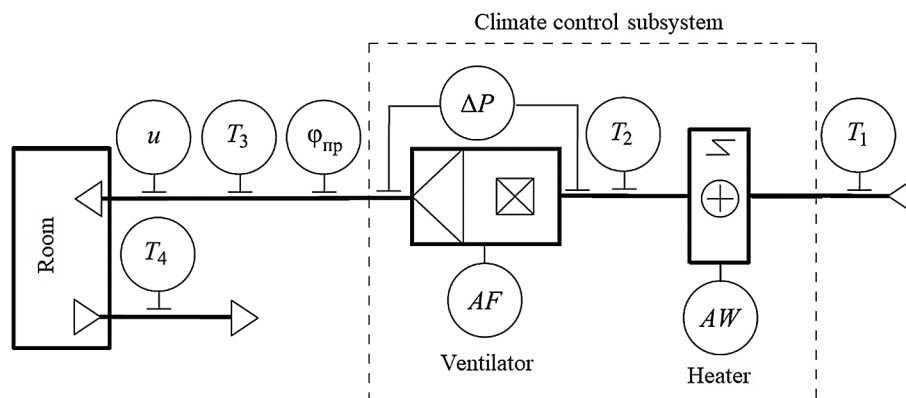


Fig. 1. Functional block diagram of the climate system “Heater-Ventilator-Room” (source: Mansurov R.Sh., Rudyak V.Ya. Transients processes in the system the heater-fan when changing the operating mode of the fan. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2019; 3:50-63)

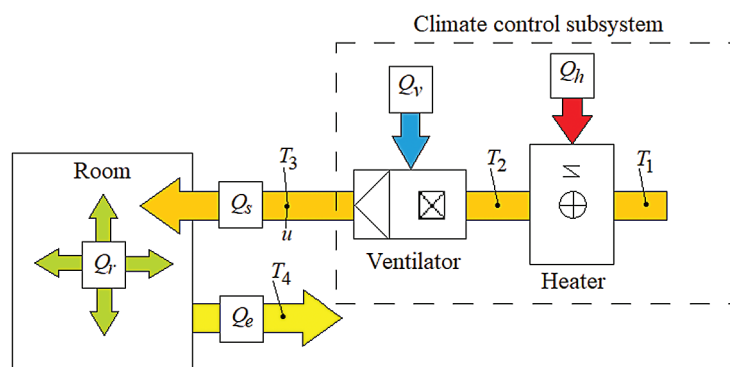


Fig. 2. Scheme of heat fluxes ventilation in the climate system “Heater-Ventilator-Room”

flux through the room; for $i = 4$ is the relative excess heat Q_s^r generated/absorbed by the moist air flux through the control subsystem; $Q_i(\tau)$ is the heat generated at the current time τ ; $Q_i(0)$ is the heat generated at the initial time $\tau = 0$; $Q_i(\tau_*)$ is the heat generated at the finite time $\tau_* = 500$ s.

Fig. 3 shows the scheme of non-parametric identification experiment in the climate system “Heater-Ventilator-Room” under the considered operation mode, with regard to heat fluxes circulation and thermal agitations. The system can be represented as a combination of two simpler subsystems characterized by the different proceeding physical processes. The subsystems are the subsystem of climate control in room, also called the climate control subsystem “Heater-Ventilator”, and the controlled subsystem “Room”. Alternatively, the climate control subsystem is composed of two objects — the heater and the ventilator. When performing experiments, stationarity and linearity of the climate control subsystem and its objects had been observed [2]. The room is not included in the general identification scheme because of unpredictability of the proceeding stochastic physical processes [13].

In identification scheme (Fig. 3), the input $\varphi(\tau)$ of the climate control subsystem is capacity step on the active ventilator. The output $f_1(t)$ is heat flux active agitation by ventilator activity represented by the relative heat Q_v^r . Being the reactive object of the climate control subsystem, the heater not only affects the heat flux by its own heat release but also reacts on ventilator capacity step. At the initial moment, the heater is inactive, or operates under zero capacity, so heater activity includes its reaction on ventilator capacity step only. The output $f_2(t)$ is the reaction of the heat flux through the heater on ventilator capacity step $\varphi(\tau)$

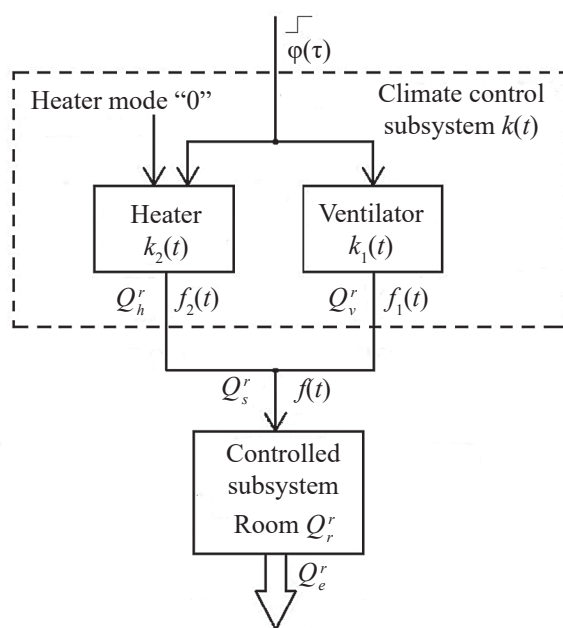


Fig. 3. Scheme of identification in the climate system “Heater-Ventilator-Room”

represented by the relative heat Q_h^r . The output $f(t)$ is the reaction of the climate control subsystem on the input step $\varphi(\tau)$ represented by the relative heat Q_s^r .

Physical processes proceeding in the climate control subsystem and its objects are complicate for an adequate mathematical description. In this case, let us assume a model of the subsystem is a non-detailed “black-box” involving only an input and an output. In input-output terms, this mathematical model can be formulated by Volterra integral equation of the 1st kind with a difference kernel [15, 16]. However, there is shown in the literature [6] that solution of the integral equation is an ill-posed problem by Hadamard due to possible violation of the solution stability under noisy experimental data on the right side of the equation [7, 8]. Let us employ the approach from [14] involving the conversion of Volterra integral equation of the 1st kind to Volterra integral equation of the 2nd kind:

$$k(t) + \frac{1}{\varphi(0)} \int_0^t \varphi'(t-\tau)k(\tau)d\tau = \frac{f'(t)}{\varphi(0)}, t \in [0, T], (2)$$

where $k(t)$ is an impulse response, $\varphi(\tau)$ is an input, $f(t)$ is an output. In the investigated subsystem, the input $\varphi(\tau)$ is the step signal from 0.6 to 0.7 with the constant amplitude. The outputs $f_1(t)$, $f_2(t)$, $f(t)$ are a priori inexact noisy observations from the laboratory facility described in [2, 13] contaminated by measurement errors. All the signals of the subsystem are equally spaced, plotted by $N = 500$ samples with the time step $\Delta t = 1$ s.

For simulation and operation the climate control subsystem described by the model (2), it is required to solve the problem of non-parametric identification consisting in evaluation of climate control subsystem impulse response $k(t)$, ventilator impulse response $k_1(t)$ and heater impulse response $k_2(t)$ by measured noisy outputs when ventilator capacity varies step-wise. In terms of causal relationships, the problem is inverse because it requires to regenerate the impulse response on the known reaction of the subsystem or object.

Note that the problem formulated in the form (2) remains ill-posed and means calculation of the first derivatives from noisy outputs so the solution obtained may be unstable under measurement noises in initial data. A stable solution of the problem posed is suggested to calculate by authors’ non-parametric identification algorithm for technical systems reported in [11, 12, 14] which evaluates impulse responses by smoothing cubic splines.

RESULTS OF THE RESEARCH

Stable non-parametric identification algorithm for dynamic systems adapted for the practical identification problems in the climate control subsystem and the objects involves the following stages.

Stage 1. Analysis of information about measurement noise characteristics in noisy initial data

In this stage it is concluded whether pre-processing (or filtration) of noisy initial data would be advisable.

As is shown in [17], in case of initial data contamination by impulse noise or Gaussian noise more than 10 % it is advisable to pre-filtrate the initial data to reduce the identification error.

The initial experimental noisy outputs $f_1(t)$, $f_2(t)$, $f(t)$ are represented on Fig. 4–6. There is no a priori information available about measurement noise characteristics in the outputs. Measurement noise level in each output has been evaluated by methods [10], and for the ventilator it was $\delta_{\eta_1} = 3.4 \%$, for the heater — $\delta_{\eta_2} = 6.7 \%$, for the climate control subsystem — $\delta_{\eta} = 3.1 \%$, so no pre-filtration of noisy outputs is required.

Stage 2. Calculation of smoothing cubic splines with their stable first derivatives $S'_{\varphi, \alpha_L}(t)$, $S'_{f, \alpha_L}(t)$ from the values of inputs and outputs

Smoothing cubic splines construction is fully considered in [18, 19] but essentially depends on the two following factors not properly appreciated in literature.

The first factor is boundary conditions. When solving practical engineering problems, boundary conditions assumed to be set on account of problem specifics and distinctive features of the field observations. In the investigated problems, it would be incor-

rect to set the left boundaries of the impulse responses in zero values for a variety of reasons undermentioned. At the same time, the reactions $f_1(t)$, $f_2(t)$, $f(t)$ in the end of the time interval converge to steady state, and the according right boundaries of the impulse responses are expected to be zero [20, 21]. The classical natural boundary conditions or boundary conditions of the 1st kind seem to be inappropriate for the investigated problem. It would make sense using the combined boundary conditions, when at the left boundary the first derivative value is set, and the second zero derivative value is at the right boundary [22].

The second significant factor is selection of the best estimate α_L of the optimal smoothing parameter α_{opt} that minimizes the smoothing mean-square error [8, 20]. When solving practical problems with experimental data, there is no information about the numerical characteristics of measurement noises, and the estimate α_L is calculated by L -curve method [11]. In this experiment the value of estimate was $\alpha_L = 6,183 \cdot 10^3$.

By substitution of the calculated spline derivatives $S'_{\varphi, \alpha_L}(t)$, $S'_{f, \alpha_L}(t)$ into equation (2), equation (3) can be obtained:

$$k(t) + \frac{1}{S_{\varphi, \alpha_L}(t_1)} \int_0^t S'_{\varphi, \alpha_L}(t - \tau) k(\tau) d\tau = \frac{S'_{f, \alpha_L}(t)}{S_{\varphi, \alpha_L}(t_1)}, t \in [0, T]. \quad (3)$$

Stage 3. Calculation of the convolution integral $\int_0^t S'_{\varphi, \alpha_L}(t - \tau) k(\tau) d\tau$ from equation (3)

Approximating the convolution integral we obtain:

$$\int_0^{t_j} S'_{\varphi, \alpha_L}(t_j - \tau) k(\tau) d\tau \approx \sum_{i=1}^{j-1} \hat{k}_i \left[\int_{t_i}^{t_{i+1}} S'_{\varphi, \alpha_L}(t_j - \tau) d\tau \right], i = 1 \dots N, j = 2 \dots N \quad (4)$$

Then matrix $\Phi'(N - 1)(N - 1)$ is formed with $i = 1 \dots N - 1, j = 1 \dots N - 1$ elements calculated by the rule:

$$\Phi'_{i,j} = \begin{cases} 0 & \text{for } i < j \\ \int_{t_{j-1}}^{t_{j+2}} S'_{\varphi, \alpha_L}(\tau) d\tau & \text{for } i \geq j \end{cases} \quad (5)$$

Stage 4. Construction of the impulse response estimate $\hat{k}(t)$

Approximating equation (3) by a system of linear equations we obtain:

$$\hat{k} = \left(I + \frac{1}{S_{\varphi, \alpha_L}(t_1)} \Phi' \right) \frac{1}{S_{\varphi, \alpha_L}(t_1)} \hat{f}', \quad (6)$$

where I is an identity matrix $(N - 1)(N - 1)$; \hat{k} is solution vector, and its components are the estimates for identified impulse response values.

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 17. Выпуск 2, 2022
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 17. Issue 2, 2022

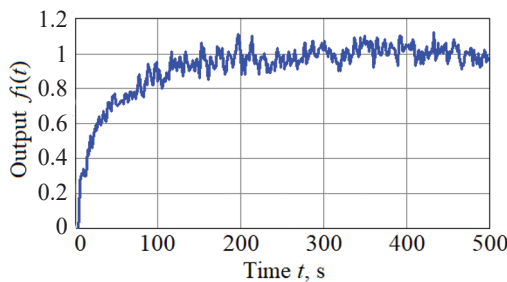


Fig. 4. Output of the ventilator $f_1(t)$

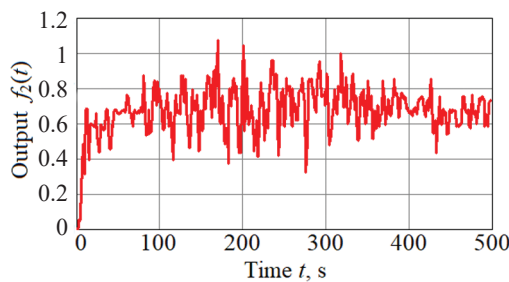


Fig. 5. Output of the heater $f_2(t)$

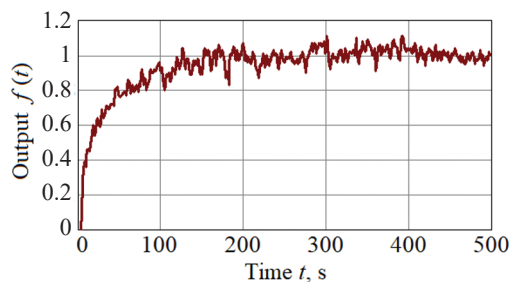


Fig. 6. Output of the climate control subsystem $f(t)$

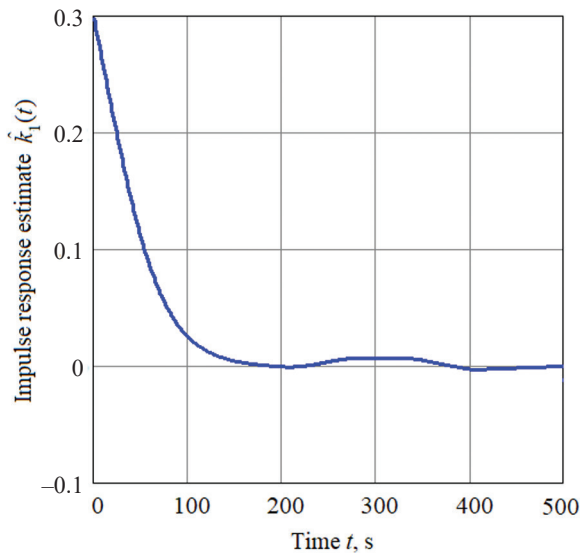


Fig. 7. Impulse response estimate $\hat{k}_1(t)$ of the ventilator

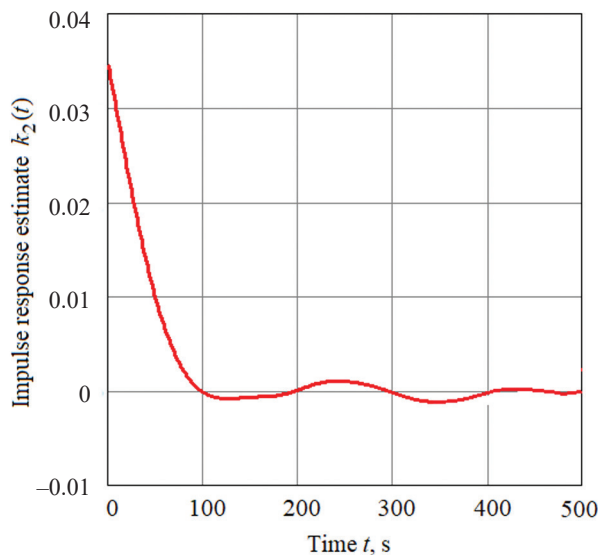


Fig. 8. Impulse response estimate $\hat{k}_2(t)$ of the heater

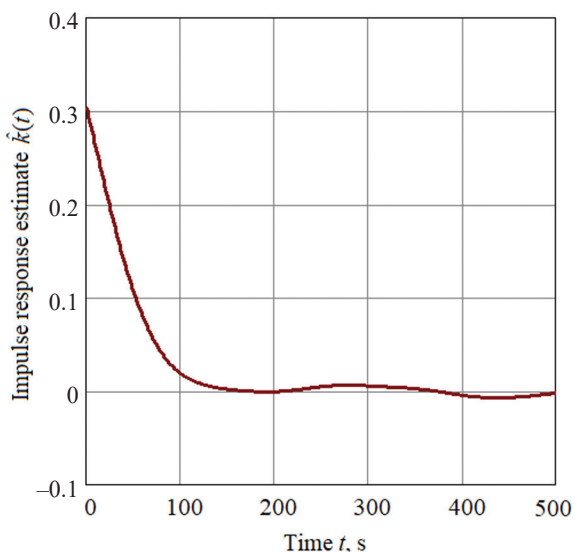


Fig. 9. Impulse response estimate $\hat{k}(t)$ of the climate controlled subsystem

Fig. 7–9 shows the calculated estimates $\hat{k}_1(t)$, $\hat{k}_2(t)$, $\hat{k}(t)$ for the climate control subsystem and its objects. The reason of nonzero initial values of the impulse responses is the testing environment of the field observations for the experimental series under the investigation. Heater capacity control is provided by the triac capacity controller generating control signal as the sinewave with average period factory setting in 57 s [23]. The experiments are conducted serially from the eighteen consecutive single experiments lasting 500 s including serial heater capacity increase in the even experiments and decrease in the odd experiments. After that, the received observational data were averaged over the nine even heating experiments and the nine odd cooling experiments. This compensates, fully or partially, the sinewave feature of the experimental data [1].

When the heater operates under zero capacity and nominally inactive, the applied power to the heater is not more than 0.01 from the maximum value of the electric capacity anyway. This fact is due to the operation of safety control system of heater fuel elements. If there is not the minimum required heating, safety control system states the heater in the emergency operation [1]. Summing up, the reason of the sinewave experimental signals is the operation of heater safety control system and the triac capacity controller. The initial values of the impulse responses associated with heater switching torque from capacity increase/decrease which mismatches with the initial zero value. The sinewaves in signals are theoretically irrelevant for construction of mathematical models so they must be reduced. In subsequent experiments the triac capacity controller will be replaced with the thyristor one, linearly controlling heater capacity.

The solutions of the direct problems shown on Fig. 10–12 are the predictions of heat flux reactions $\hat{f}_1(t)$, $\hat{f}_2(t)$, $\hat{f}(t)$ on the agitation $\varphi(\tau)$ by calculated impulse response estimates $\hat{k}_1(t)$, $\hat{k}_2(t)$, $\hat{k}(t)$. The values of the solution relative error are: for the ventilator — $\delta_{f_1} = 4.6\%$, for the heater — $\delta_{f_2} = 15.6\%$, for the climate control subsystem — $\delta_{f_3} = 4.4\%$. There is the evidence that the theoretical reactions $\hat{f}_1(t)$, $\hat{f}_2(t)$, $\hat{f}(t)$ corresponds highly to the experimental data $f_1(t)$, $f_2(t)$, $f(t)$. Note that the theoretical characteristics are sufficiently smooth. Measurement noises and instrumental errors introducing non-informative sinewaves are reduced that affects the solution relative errors.

CONCLUSION AND DISCUSSION

Let us analyze the behavior of the heat transients of the climate system elements.

The ventilator has an internal heat source and affects the heat flux by the heat production of its own and by the heat exchange with the flux. On Fig. 10 it can be observed that the heat Q_v^r generated by the ventilator increases monotonically and stabilizes then when the heat flux is heated. Objectively, at the beginning of the transient, the difference $\Delta T_v = T_3 - T_2$ is incremental due to

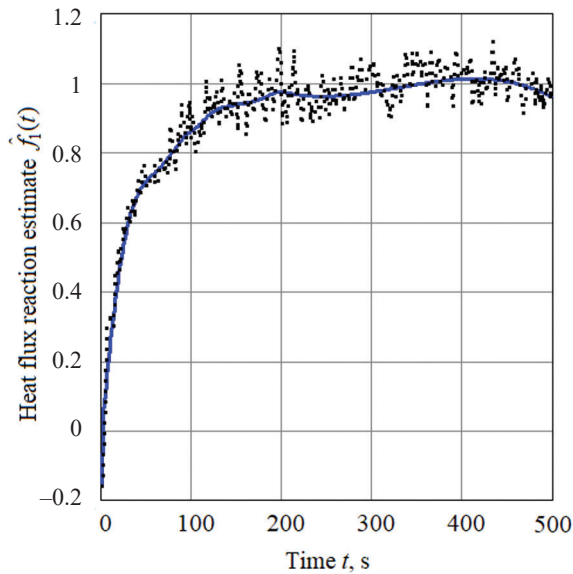


Fig. 10. Heat flux reaction estimate $f_1(t)$ of the ventilator

the small decrease of pre-ventilator temperature T_2 and constant post-ventilator temperature T_3 , and Q_v^r evolution is governed by the increasing air mass flow G . After that, Q_v^r increase changes qualitatively and keeps growing because of active ventilator heat production by its own [11]. Finally, heat generation intensity by the ventilator and the heat exchange with the heat flux stabilizes and sets Q_v^r to 1. The evolution of climate control subsystem heat Q_s^r on Fig. 12 changes similarly. As is noted in [1], the characteristics plotted on Fig. 10 are the typical Q_v^r evolution for blasting when the ventilator is active. In this case, the heat Q_v^r changes at most in accordance with heater capacity operation mode, and the value of ventilator capacity step is insufficient.

On Fig. 11 it can be observed that at the beginning of the transient the heat Q_h^r generated by the heater is attended with the increase of G . Transient time depends on the factory setting of the triac capacity control-

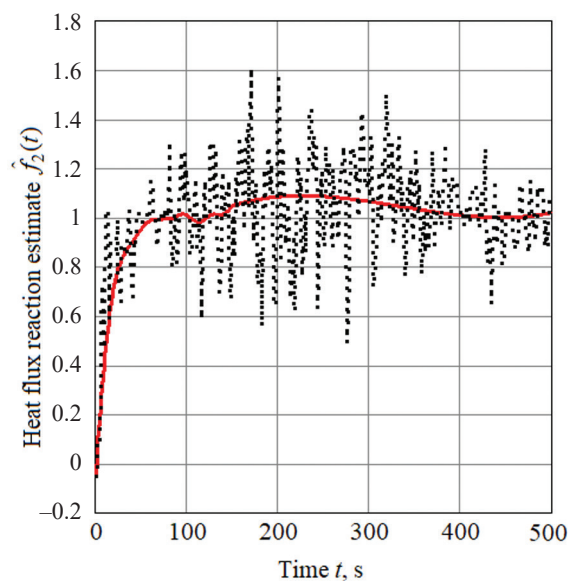


Fig. 11. Impulse response estimate $f_2(t)$ of the heater

ler [23]. Then heat exchange process between the heat flux and heater surface stabilizes, Q_h^r decreases slightly and sets to 1. The characteristics plotted on Fig. 11 are the typical Q_h^r evolution for blasting when the heater is reactive. The literature [1] states that Q_h^r evolution is sufficiently defined by heater capacity operation mode, and the more capacity is, the more the influence of ventilator capacity step.

For the theoretical characteristics on Fig. 10–12 it is simpler to predict their behavior under the certain conditions in comparison with the experimental data contaminated with measurement noises. The theoretical characteristics are qualitatively more accurate and informative and can be used further for modeling and controlling the room.

A non-parametric identification of real dynamic systems is a rather complicated and time-consuming problem as a matter of actual practice. On the one hand, it is due to ill-posedness of equation (2) solution, and on the other hand, it caused by different types of inputs and outputs of identified systems. The algorithm proposed in paper enables to perform a stable non-parametric identification whether for a whole system or for its elements individually with completely regard to the specifics of a problem posed. Smoothing cubic splines allow constructing the efficient algorithm for filtration of various statistical measurement noises in inputs and outputs of a system. Because of smoothing cubic splines application, identification error value depends on the differentiation errors of inputs involving matrix Φ elements (5) and of outputs involving vector \hat{f}' components (6). Optimal smoothing parameter evaluation meets the minimum of the differentiation errors for noisy inputs and outputs of an identified system and the minimum of the identification error as a consequence [24].

Successful solution of the real engineering problem of the non-parametric identification applied to the cli-

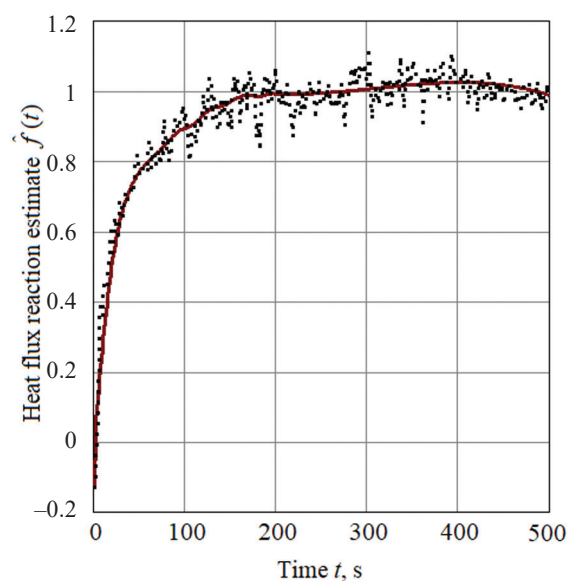


Fig. 12. Impulse response estimate $f(t)$ of the climate controlled subsystem

mate system “Heater-Ventilator-Room”, when the observational data are noise-contaminated, proves the efficiency of the algorithm proposed for applied problems solution. The non-parametric identification of the impulse responses for the elements of the climate system allows predicting heat flux reaction on the agitation with

the high accuracy. The results of the investigation represented permit advising the algorithm for identification of impulse responses in other real dynamic systems. Particularly, the algorithm can be used for modeling and studying of transients in the investigated climate system under the more complex operation modes.

REFERENCES

1. Mansurov R.Sh., Rudyak V.Ya. Transients processes in the system the heater-fan when changing the operating mode of the fan. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2019; 3:50-63. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-723-3-50-63 (rus.).
2. Mansurov R.Sh. Thermodynamic processes in the elements of microclimate control systems. *Plumbing, Heating, Air Conditioning*. 2014; 1(145):90-93. (rus.).
3. Botoroeva M.N., Bulatov M.V. Applications and methods for the numerical solution of a class of integro-algebraic equations with variable limits of integration. *The Bulletin of Irkutsk State University*. 2017; 20:3-16. DOI: 10.26516/1997-7670.2017.20.3 (rus.).
4. Brunner H. *Volterra integral equations: an introduction to theory and applications*. Cambridge, Cambridge University Press, 2017; 387. DOI: 10.1017/9781316162491
5. Suslov K.V., Solodusha S.V., Gerasimov D.O. Integral models for control of smart power networks. *IFAC-PapersOnLine*. 2016; 49(27):439-444. DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.10.772
6. Osipov Yu.S., Maksimov V.I. On dynamical input reconstruction in a distributed second order equation. *Journal of Inverse and Ill-posed Problems*. 2021; 29(5):707-719. DOI: 10.1515/jiip-2021-0004
7. Gürbüz B.A. A numerical scheme for the solution of neutral integro-differential equations including variable delay. *Mathematical Sciences*. 2021. DOI: 10.1007/s40096-021-00388-3
8. Gabbasov N.S. On numerical solution of one class of integro-differential equations in a special case. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2020; 60:1666-1678. DOI: 10.1134/s0965542520090092
9. Voytishchek A.V. Classification and applications of randomized functional numerical algorithms for the solution of second-kind Fredholm integral equations. *Journal of Mathematical Sciences*. 2021; 254(7):589-605. DOI: 10.1007/s10958-021-05328-z
10. Solodusha S.V., Mokry I.V. A numerical solution of one class of Volterra integral equations of the first kind in terms of the machine arithmetic features. *Bulletin of the South Ural State University. Series Mathematical Modelling, Programming & Computer Software*. 2016; 9(3):119-129. DOI: 10.14529/mmpl60310
11. Voskoboinikov Yu.E., Boeva V.A. L-curve method for evaluating the optimal parameter of a smoothing cubic spline. *International Research Journal*. 2021; 11(113):6-13. DOI: 10.23670/IRJ.2021.113.11.003 (rus.).
12. Voskoboinikov Yu.E., Boeva V.A. Synthesis of smoothing cubic spline in non-parametric identification technical systems' algorithm. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 953:012035. DOI: 10.1088/1757-899X/953/1/012035
13. Mansurov R.Sh., Voskoboinikov Yu.E., Boeva V.A. A theoretical and experimental study of transient characteristics of the heat exchange in a thermal control system. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2021; 16(6):720-729. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.6.720-729 (rus.).
14. Mansurov R.Sh., Kuvshinov Yu.Ja. Intellectualization of control systems of room micro-climate processes involvement. *News of Kabardino-Balkarskiy Science Center of Russian Science Academy*. 2012; 2-2(46):85-93. (rus.).
15. Kondratenko Y., Kuntsevich V.M., Chikrii A.A., Gubarev V.F. *Advanced Control Systems: Theory and Applications*. Series in Automation, Control, and Robotics. River Publishers, 2021; 300.
16. Jing X., Ding Hu, Wang J. Advances in applied nonlinear dynamics, vibration and control-2021. *The Proceedings of 2021 International Conference on Applied Nonlinear Dynamics, Vibration and Control (ICANDVC2021)*. Springer, Singapore, 2021; 1198.
17. Boeva V.A. About the reasonability of noises under the pre-filtration processes for identification problems. *Caspian Engineering and Construction Bulletin*. 2019; 4(30):141-145. (rus.).
18. Mariati N.P.A.M., Budiantara I.N., Ratnasari V. The application of mixed smoothing spline and fourier series model in nonparametric regression. *Symmetry*. 2021; 13(11):2094. DOI: 10.3390/sym13112094
19. Li K., Huang T.Z., Li L., Lanteri S. Non-intrusive reduced-order modeling of parameterized electromagnetic scattering problems using cubic spline interpolation. *Journal of Scientific Computing*. 2021; 87(2):52. DOI: 10.1007/s10915-021-01467-2
20. Zabczyk J. *Mathematical Control Theory: An Introduction*. Birkhäuser, 2020; 336. DOI: 10/1007/978-3-030-44778-6
21. Wang J., Ricardo A.R.M, Meng H., Ruben M.M., Jorge L.S. Introducing system identification strategy into model predictive control. *Journal of Systems Science and Complexity*. 2020; 33(5):1402-1421. DOI: 10.1007/s11424-020-9058-3

22. Voskoboinikov Yu.E., Boeva V.A. Descriptive signal smoothing in a single algorithm nonparametric identification of technical systems. *Modern High Technologies*. 2020; 7:24-28. DOI: 10.17513/snt.38128 (rus.).

23. Nikulin E.A. *Bases of Automation Control Theory. Frequency Methods of System Analysis and*

Synthesis. St. Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2004; 640. (rus.).

24. Toshniwal D., DiPasquale M. Counting the dimension of splines of mixed smoothness. *Advances in Computational Mathematics*. 2021; 47:1-29. DOI: 10.1007/s10444-020-09830-x

Received December 3, 2021.

Adopted in revised form on February 23, 2022.

Approved for publication on February 23, 2022.

BIONOTES: Rustam Sh. Mansurov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Head of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation; **Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)**; 113 Leningradskaya st. Novosibirsk, 630008, Russian Federation; 377487; rmansurov@inbox.ru;

Yuri E. Voskoboinikov — Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of the Department of Applied Mathematics; **Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)**; 113 Leningradskaya st., Novosibirsk, 630008, Russian Federation; Professor of the Department of Automation; **Novosibirsk State Technical University**; 20 Karla Marksa Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation; 13547, Scopus: 6602170597, ORCID: 0000-0002-9731-8618; voscob@mail.ru;

Vasilisa A. Boeva — postgraduate student, Assistant of the Department of Applied Mathematics; **Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)**; 113 Leningradskaya st., Novosibirsk, 630008, Russian Federation; 1027172; v.bojeva@sibstrin.ru.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мансуров Р.Ш., Рудяк В.Я. Переходные процессы в системе нагреватель–вентилятор при изменении режима работы вентилятора // Известия вузов. Строительство. 2019. № 3. С. 50–63. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-723-3-50-63

2. Мансуров Р.Ш. Термодинамические процессы в элементах систем обеспечения микроклимата // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2014. № 1 (145). С. 90–93.

3. Ботороева М.Н., Булатов М.В. Приложения и методы численного решения одного класса интегро-алгебраических уравнений с переменными пределами интегрирования // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Математика. 2017. Т. 20. С. 3–16. DOI: 10.26516/1997-7670.2017.20.3

4. Brunner H. *Volterra integral equations: an introduction to theory and applications*. Cambridge : Cambridge University Press, 2017. 387 p. DOI: 10.1017/9781316162491

5. Suslov K.V., Solodusha S.V., Gerasimov D.O. Integral models for control of smart power networks // IFAC-PapersOnLine. 2016. Vol. 49. Issue 27. Pp. 439–444. DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.10.772

6. Osipov Yu.S., Maksimov V.I. On dynamical input reconstruction in a distributed second order equation // Journal of Inverse and Ill-posed Problems. 2021. Vol. 29. Issue 5. Pp. 707–719. DOI: 10.1515/jiip-2021-0004

7. Gürbüz B.A. A Numerical scheme for the solution of neutral integro-differential equations including variable delay // Mathematical Sciences. 2021. DOI: 10.1007/s40096-021-00388-3

8. Gabbasov N.S. On numerical solution of one class of integro-differential equations in a special case // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2020. Vol. 60. Pp. 1666–1678. DOI: 10.1134/s0965542520090092

9. Voytishchik A.V. Classification and applications of randomized functional numerical algorithms for the solution of second-kind Fredholm integral equations // Journal of Mathematical Sciences. 2021. Vol. 254. Issue 7. Pp. 589–605. DOI: 10.1007/s10958-021-05328-z

10. Solodusha S.V., Mokry I.V. A numerical solution of one class of Volterra integral equations of the first kind in terms of the machine arithmetic features // Bulletin of the South Ural State University. Series Mathematical Modelling, Programming & Computer Software. 2016. Vol. 9. Issue 3. Pp. 119–129. DOI: 10.14529/mmpl60310

11. Воскобойников Ю.Е., Боева В.А. Метод L-кривой для оценивания оптимального параметра сглаживающего кубического сплайна // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 11–1 (113). С. 6–13. DOI: 10.23670/IRJ.2021.113.11.003

12. Voskoboinikov Yu.E., Boeva V.A. Synthesis of smoothing cubic spline in non-parametric identification technical systems' algorithm // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 953. P. 012035. DOI: 10.1088/1757-899X/953/1/012035

13. Мансуров Р.Ш., Воскобойников Ю.Е., Боева В.А. A Theoretical and experimental study of transient characteristics of the heat exchange in a thermal

control system // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 6. С. 720–729. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.6.720-729

14. Мансуров Р.Ш., Кувшинов Ю.Я. Интеллектуализация управления системами формирования микроклимата помещений // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2012. № 2–2 (46). С. 85–92.

15. Kondratenko Y., Kuntsevich V.M., Chikrii A.A., Gubarev V.F. Advanced Control Systems: Theory and Applications. Series in Automation, Control, and Robotics. River Publishers, 2021. 300 p.

16. Jing X., Ding Hu, Wang J. Advances in applied nonlinear dynamics, vibration and control-2021 // The Proceedings of 2021 International Conference on Applied Nonlinear Dynamics, Vibration and Control (ICANDVC2021). Springer : Singapore, 2021. 1198 p.

17. Боева В.А. О целесообразности предварительной фильтрации зашумленных сигналов в задачах идентификации // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2019. № 4 (30). С. 141–145.

18. Mariati N.P.A.M., Budiantara I.N., Ratnasari V. The application of mixed smoothing spline and fourier series model in nonparametric regression // Symmetry. 2021. Vol. 13. Issue 11. P. 2094. DOI: 10.3390/sym13112094

19. Li K., Huang T.Z., Li L., Lanteri S. Non-Intrusive reduced-order modeling of parameterized

electromagnetic scattering problems using cubic spline interpolation // Journal of Scientific Computing. 2021. Vol. 87. Issue 2. P. 52. DOI: 10.1007/s10915-021-01467-2

20. Zabczyk J. Mathematical control theory: An introduction. Birkhäuser, 2020. 336 p. DOI: 10/1007/978-3-030-44778-6

21. Wang J., Ricardo A.R.M, Meng H., Ruben M.M., Jorge L.S. Introducing system identification strategy into model predictive control // Journal of Systems Science and Complexity. 2020. Vol. 33. Issue 5. Pp. 1402–1421. DOI: 10.1007/s11424-020-9058-3

22. Воскобойников Ю.Е., Боева В.А. Deskриптивное сглаживание сигнала в одном алгоритме непараметрической идентификации технических систем // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 7. С. 24–28. DOI: 10.17513/snt.38128

23. Никулин Е.А. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем. СПб. : Изд-во БХВ-Петербург, 2004. 601 с.

24. Toshniwal D., DiPasquale M. Counting the dimension of splines of mixed smoothness // Advances in Computational Mathematics. 2021. Vol. 47. Pp. 1–29. DOI: 10.1007/s10444-020-09830-x

Поступила в редакцию 3 декабря 2021 г.

Принята в доработанном виде 23 февраля 2022 г.

Одобрена для публикации 23 февраля 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Рустам Шамильевич Мансуров** — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции; **Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**; 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113; РИНЦ ID: 377487; rmansurov@inbox.ru;

Юрий Евгеньевич Воскобойников — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики; **Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**; 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113; профессор кафедры автоматизации; **Новосибирский государственный технический университет (НГТУ)**; 630073, г. Новосибирск, пр-т Карла Маркса, д. 20; РИНЦ ID: 13547, Scopus: 6602170597, ORCID: 0000-0002-9731-8618; voscob@mail.ru;

Василиса Андреевна Боева — аспирант, ассистент кафедры прикладной математики; **Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**; 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113; РИНЦ ID: 1027172; v.bojeva@sibstrin.ru.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 69.05 : 624.05

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.232-241

Применение риск-ориентированного подхода при выполнении функций строительного контроля технического заказчика

Азарий Абрамович Лapidус, Александр Николаевич Макаров

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Учитывая высокую многозадачность работы в условиях интенсивной динамики строительства, технический заказчик не может вести строительный контроль, охватывающий 100 % деятельности генерального подрядчика и субподрядных организаций. В настоящее время в нормативной документации не закреплены подходы, устанавливающие степень опасности строительных дефектов и нарушений требований охраны труда и техники безопасности. Поэтому актуальны разработка и внедрение методик, позволяющих расставлять приоритеты между объектами контроля и управления, и определение последовательности устранения выявленных нарушений. Для решения данных проблем предложено использование риск-ориентированного подхода (РОП). Цель исследования — разработать методологию применения РОП в строительном контроле техзаказчика. Задачи исследования — идентификация, анализ и расчет рисков при проведении строительного контроля.

Материалы и методы. Для идентификации рисков использованы методы системного и морфологического анализа, с целью классификации дефектов — стандарты системы показателей качества продукции в строительстве. Расчет рисков выполнен на основании стандартов менеджмента риска и положений теории вероятностей, а именно теоремы Байеса.

Результаты. Выполнен обзор применения менеджмента риска в строительстве и обоснована актуальность его внедрения в систему управления охраной труда и систему контроля качества технического заказчика. Определены способы расчета апостериорной вероятности травматизма при появлении нарушения в области охраны труда. Выполнена классификация строительных дефектов по виду и степени опасности. Приведен способ расчета апостериорной вероятности неблагоприятных событий при выявлении дефектов строительных конструкций.

Выводы. Изложены результаты по разработке методики определения рисков при проведении строительного контроля, которая основана на расчете апостериорных вероятностей неблагоприятных событий, установленных по статистике трех априорных показателей: частота возникновения опасностей, частота возникновения ущерба, частота возникновения опасностей, повлекших ущерб. Показаны перспективы дальнейшего исследования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: менеджмент риска, риск-ориентированный подход, оценка риска, система контроля качества строительства, дефекты строительных конструкций, система управления охраной труда, организация строительства

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Лapidус А.А., Макаров А.Н. Применение риск-ориентированного подхода при выполнении функций строительного контроля технического заказчика // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 2. С. 232–241. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.232-241

Автор, ответственный за переписку: Александр Николаевич Макаров, amakarof@yandex.ru.

A risk-based approach to construction control applied by a developer

Azarij A. Lapidus, Aleksandr N. Makarov

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

ABSTRACT

Introduction. The activity of a technical customer, performed in the course of implementing construction projects, encompasses numerous functions, including construction control. Given that multitasking is typical for intensive construction, construction control, performed by the technical customer, cannot reach 100 % of the activities conducted by the general contractor and subcontractors. Currently no regulatory documentation determines the level of danger of construction defects and violations of occupational health and safety requirements. In this regard, it is important to develop and implement methods that allow prioritizing the objects of control and management, and determine the sequence of violations to be eliminated. It is important to introduce a risk-based approach into construction control performed by the technical customer to solve these problems.

The purpose of the study is to develop a methodology of risk-based construction control by the developer. The objectives of the research include identification, analysis and calculation of risks in the course of construction control.

Materials and methods. In this article, methods of systemic and morphological analysis are used to identify risks; standards of the system of indicators applied to the product quality in construction are used to classify defects. Risks are calculated using risk management standards and provisions of the theory of probability, namely, Bayes' theorem.

Results. This article has an overview of application of risk management in construction; it substantiates the relevance of its implementation by the technical customer within the framework of the construction control system. The article identifies the main risks of construction control and suggests a method for calculating them using Bayes' theorem. Methods of calculating the a posteriori probability of injury in the event of a violation of occupational health and safety rules are determined. In the article, the authors present a classification of defects of monolithic railway structures. The article provides sample classifications of defects of monolithic reinforced concrete structures. The method of calculating the risk of damage caused by a defect in a building structure is determined, which allows assessing the degree of the defect hazard. The method of calculating the a posteriori probability of adverse events in the course of detecting defects in building structures is determined.

Conclusions. In the article, the authors present a methodology for identifying risks in the course of construction control. It encompasses the calculation of a posteriori probabilities of adverse events using three a priori indicators: the frequency of hazards, the frequency of damage, the frequency of hazards that cause damage. The prospects of further research are addressed in the conclusion section of the article.

KEYWORDS: risk management, risk-based approach, risk assessment, quality control system, defects of building structures, occupational health and safety management system, organization of construction

FOR CITATION: Lapidus A.A., Makarov A.N. A risk-based approach to construction control applied by a developer. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(2):232-241. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.232-241 (rus.).

Corresponding author: Aleksandr N. Makarov, anmakarof@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В сфере организации строительства актуальным направлением является разработка методов и средств оценки и прогнозирования возможных последствий принятия управленческих решений. Один из таких инструментов, зарекомендовавших себя в производственной деятельности, — менеджмент риска. Проведены исследования в части процессов менеджмента риска в различных областях строительства [1]. Идентифицированы факторы риска в строительной отрасли [2, 3] и в отдельных сферах, таких как жилищное [4, 5], малоэтажное [6, 7], подземное [8], железнодорожное строительство [9], установлены критерии риска причинения вреда здоровью при дорожном строительстве [10], изучаются экономические риски строительных проектов [11].

Рассмотрены оценки риска травматизма определенных видов строительно-монтажных работ (СМР) [12]; рисков, связанных с качеством строительных работ на примере строительства фасадов [13] и бетонных покрытий [14]. В РФ с 2016 г. Постановлением Правительства РФ от 17.08.2016 № 806 введено применение риск-ориентированного подхода (РОП) в организации государственного контроля в различных сферах поднадзорной деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей. В части организации государственного строительного надзора (ГСН) с 2018 г. также введен РОП Постановлением Правительства РФ от 25.10.2017 № 1294. РОП в устройстве ГСН заключается в разделении строительных объектов на категории риска в зависимости от потенциальной опасности (вред здоровью и жизни, финансовые затраты в результате потенциальных негативных последствий) и разработке программы проверок каждого объекта в соответствии с установленным для него критерием риска (для каждой категории

риска определено максимальное число проверок). Введение РОП позволило повысить эффективность работы надзорных органов за счет рационального распределения внутренних ресурсов и выставления приоритетности контроля между объектами в зависимости от их сложности и ответственности, что в свою очередь способствует снижению рисков аварий, чрезвычайных происшествий, получения некачественной строительной продукции [15, 16]. В строительной отрасли следующая ступень контроля после ГСН — строительный контроль технического заказчика. Данный контроль служит неотъемлемым звеном любого строительного проекта, обеспечивающим и подтверждающим достижение проектных и нормативных показателей строительного объекта. Содержание и функции строительного контроля регламентируются Градостроительным кодексом РФ и различными нормативными документами (СНиП 12-01-2004 «Организация строительства»), но для эффективной организации и управления строительным контролем на конкретных объектах требуется применение научных подходов, таких как РОП.

В настоящее время в области контроля качества строительных процессов на нормативном уровне не разработано методик или рекомендаций, которые устанавливают подходы к расчету рисков при выявлении дефектов строительных конструкций. В сфере охраны труда созданы подходы к расчету рисков травматизма с помощью метода логического анализа дерева событий, метода вербальных функций, с применением нечетких множеств [17], а также на основании статистических данных по несчастным случаям и экспертных опросов [18]. Но не представлено исследований, которые учитывают частоту появления нарушений требований охраны труда, что даст возможность рассчитать апостериорные вероятности травматизма с помощью байесовского подхода.

Цель данного исследования — определить методологию использования РОП в системе управления охраной труда и контролем качества строительства со стороны технического заказчика на основе байесовского подхода расчета вероятности неблагоприятных событий. В задачи исследования входят идентификация рисков при выполнении функций строительного контроля, классификация дефектов по виду и степени опасности (ущерба), выявление подхода для расчета апостериорных вероятностей неблагоприятных событий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Учитывая многообразный комплекс функций и задач, возложенных на технического заказчика при строительстве зданий и сооружений, внедрение РОП в систему строительного контроля технического заказчика позволит повысить эффективность решения комплекса вопросов по нескольким направлениям:

- 1) процесс организации и управления строительным контролем на объектах строительства — расстановка приоритетов между объектами контроля (видами работ), а также между выявленными нарушениями;
- 2) процедура выполнения строительного контроля — входной, операционный, приемочный контроль качества, а также контроль выполнения требований охраны труда и техники безопасности (ОТиТБ);
- 3) процессы проверки и согласования исполнительной и организационно-технологической документации;
- 4) согласование рабочей документации;
- 5) согласование финансовых потоков.

Для исследования поставленной проблемы использованы основные положения менеджмента ри-

ска ГОСТ Р ИСО 13824-2013, системы показателей качества продукции ГОСТ 4.200-78, основные положения управления качеством продукции ГОСТ 15467-79.

Согласно ГОСТ Р 12.0.010-2009, риск R события A рассчитывается по формуле

$$R(A) = P(A)U(A), \quad (1)$$

где $P(A)$ — вероятность события A ; $U(A)$ — потенциальный ущерб события A .

Для математического обоснования принятой методики в статье применяются положения теории вероятностей, и в частности, теорема Байеса.

При изучении рисков строительного контроля со стороны технического заказчика можно выделить следующие основные риски, изображенные на рис. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Риск травматизма

Значительное количество работ посвящено менеджменту риска в области безопасности строительства [19, 20]. НОСТРОЙ разработал методику отнесения строительных объектов к шести категориям риска в зависимости от соблюдения на них трудового законодательства в области охраны труда¹. В данной методике выделены строительные работы, которые имеют повышенный риск травматизма, а также предложен способ расчета «потенциального риска причинения вреда здоровью».

¹ Методика отнесения деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей и (или) строительных объектов, в отношении которых указанные лица осуществляют строительство, реконструкцию, капитальный ремонт, снос, к определенной категории риска или определенному классу опасности. URL: https://nostroy.ru/nostroy/comitees/comitet_strahovanie/deyat/

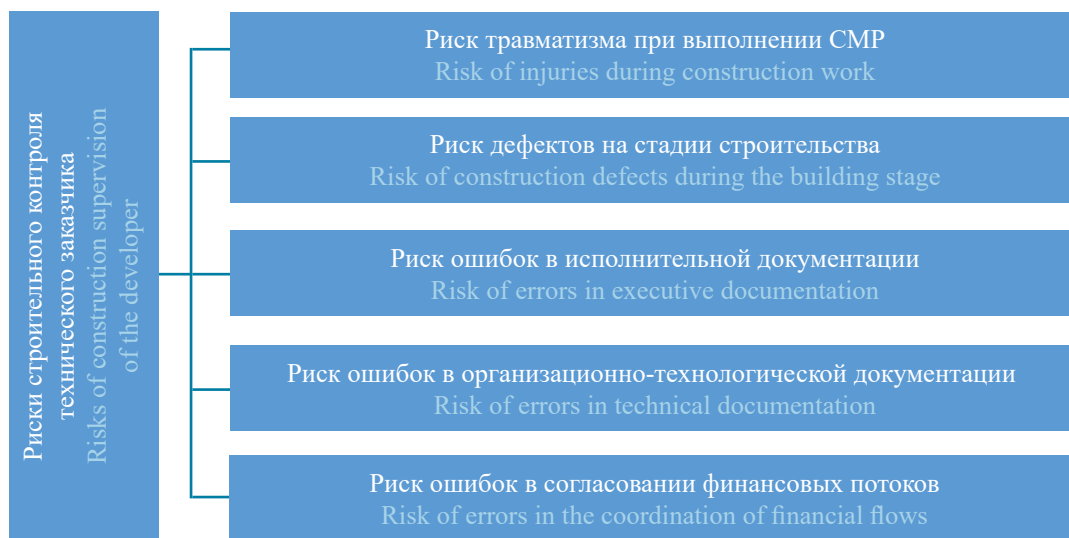


Рис. 1. Риски строительного контроля техзаказчика

Fig. 1. Construction supervision risks

Данный риск укрупненно характеризует состояние охраны труда на строительных объектах по зафиксированному на них количеству несчастных случаев и нарушений, видов опасных работ и сотрудников и хорошо подходит для управления рисками при контроле совокупности строительных объектов надзорными органами (СРО, ГСН). Для управления охраной труда внутри одного объекта строительства необходимо создание более гибкого инструмента оценки, учитывающего динамику причин возникновения несчастных случаев, а именно нарушений требований ОТиТБ. В этом случае риск травматизма $R(B)$ можно представить в виде формулы

$$R(B) = \sum_i P(B | A_i) U(B), \quad (2)$$

где $P(B | A_i)$ — вероятность травматизма в результате появления i -го нарушения ОТиТБ.

Оценка рисков по формуле (2) позволит классифицировать нарушения требований ОТиТБ по степени опасности. Применение РОП обеспечит повышение эффективности функционирования системы управления охраной труда (СУОТ) за счет возможности определения приоритетности при устранении нарушений по уровню риска травматизма. В процессе строительства накапливается большое количество статистической информации о нарушениях ОТиТБ, которую можно использовать для вычисления апостериорных вероятностей травм на строительном объекте, тем самым учитывая специфику СУОТ на данном объекте. Авторы предлагают использовать байесовский подход для определения вероятности наступления травмы на производстве.

В этом случае выражение (2) можно преобразовать следующим образом

$$P(B | A_i) = \frac{P(A_i | B) P(B)}{P(A_i)}, \quad (3)$$

где $P(A_i)$ — частота (априорная вероятность) появления i -го нарушения ОТиТБ; $P(A_i | B)$ — частота (априорная вероятность) нарушения i -го требования ОТиТБ, которое приведет к появлению события; B — травма на производстве; $P(B)$ — частота (априорная вероятность) травматизма в строительстве.

Риск дефектов

При выполнении строительных работ следующая важная категория риска — это риск дефектов строительных конструкций. Есть риски, которые вызваны постепенным износом и старением конструкций [21], а также различными неблагоприятными природными воздействиями [22]. В предыдущих работах авторы исследовали основные опасности, возникающие при обнаружении дефектов во время строительства и на стадии эксплуатации. В данной статье рассмотрены риски, сопряженные с дефектами строительных конструкций, возникшими в результате нарушений при строительстве. Были выявлены основные опасности, связанные с данными рисками, которые разбиты на пять групп в зависимости от вида ущерба (рис. 2).

Показатели назначения включают прочность, теплоизоляцию, гидроизоляцию, звукоизоляцию конструкций и т.п. в зависимости от их вида. Факторы конструктивности отвечают за геометрические размеры, форму, структуру конструкций, эргономические показатели включают температурный режим, влажность, содержание химических веществ и т.д. Следующий этап исследований — определение типовых дефектов различных строительных конструкций и их классификация по выделенным группам. В настоящей статье выполнена классификация типовых дефектов при возведении монолитных железобетонных (ж/б) конструкций (табл.).



Рис. 2. Классификация дефектов по виду опасности

Fig. 2. Classification of defects by types of hazards

Классификация типовых дефектов монолитных ж/б конструкций по виду опасности

Classification of standard defects of monolithic reinforced concrete structures by types of hazards

Нарушение показателей назначения Violation of purpose indicators	Нарушение надежности и долговечности Violation of reliability and durability	Нарушение показателей конструктивности Violation of constructivity indicators	Нарушение эргономических показателей Violation of ergonomic indicators	Нарушение эстетических показателей Violation of aesthetic indicators
Уменьшение прочности бетона конструкции Reduction in the strength of a concrete structure	Трещины в бетоне шириной раскрытия более 0,2 мм Cracks in concrete with an opening width exceeding 0.2 mm	Отклонение по вертикали, прямолинейности, горизонтальности конструкций Variation from plumb, straightness, horizontality of a structure	Снижение энергоэффективности Reduced energy efficiency	Жировые и ржавые пятна поверхности бетона Grease and rust stains on the concrete surface
Уменьшение диаметра арматуры Reduced diameter of the reinforcement	Нарушения при стыковке арматуры Reinforcement connection violations	Отклонения размеров сечения Deviations of cross section dimensions	Повышенный уровень химического/радиационного загрязнения бетона High chemical/radiation pollution of concrete	Раковины, сколы на поверхности бетона Irregularities and chips on the concrete surface
Изменение шага арматуры и/или количества Changes in the reinforcement spacing and/or quantity	Участки неуплотненного бетона Areas of non-compacted concrete	Отклонения от соосности, длин пролетов Deviations from the axis, lengths of spans	Снижение звукоизоляции конструкций Reduced sound insulation of structures	Обнажение фиксаторов защитного слоя, проволоки Exposure of protective layer retainers and the wire
	Обнажение рабочей арматуры Exposure of working reinforcement	Отклонения размеров проемов Dimensional deviations of openings		
	Уменьшение морозостойкости, водонепроницаемости бетона конструкции Reduction of frost resistance, water permeability of concrete	Расположение анкерных болтов, выпусков арматуры Location of anchor bolts, protruding reinforcement		
	Уменьшение защитного слоя бетона Reduced concrete cover			

Разделение дефектов на группы, отображенное на рис. 2, не дает однозначной характеристики степени опасности дефекта. На различных строительных объектах и для разных строительных конструкций дефекты из одной группы могут значительно отличаться по степени опасности. В зависимости от степени опасности дефекты принято разделять на три класса (рис. 3).

При выполнении строительного контроля в процессе строительства дефекты, относящиеся к первому виду «нарушение показателей назначения», должны классифицироваться как «критический дефект». Только после анализа представителей организаций, ответственных за разработку проектной документации, данные дефекты можно переклассифицировать в другую группу. Дефекты из групп «нарушение надежности и долговечности» и «нарушение показателей конструктивности» — это дефекты класса «значительный дефект», аналогично дефектам первого вида их можно переклассифицировать только после анализа проектной организацией. Дефекты вида «нарушение эргономических показателей» чаще можно отнести к классу «малозначительный дефект», исключением могут являться дефекты, связанные с нарушением энергоэффективности и токсичности конструкций в зависимости от количества и масштаба данных дефектов.

Вид дефектов «нарушение эстетических показателей» также причислим к классу «малозначительный дефект» за исключением отделочных покрытий, степень и количество дефектов в которых значительно влияют на процесс реализации конечной продукции и ее дальнейшей эксплуатации. Решения по переклассификации дефектов, связанных с эргономическими показателями конструкций,

и дефектов отделочных покрытий принимают представители проектных организаций и разработчики дизайн-проектов, соответственно.

Все описанные выше подходы к классификации дефектов охватывают большую часть типовых дефектов конструкций, но для каждого случая классификации найдутся свои исключения. Как отмечено выше, для любого дефекта, установленного строительным контролем, возможно изменение класса в результате решений представителей проектных организаций. Но окончательное решение по присвоению класса тому или иному дефекту строительных конструкций, как и решение по способу устранения дефекта, — за техническим заказчиком. Процесс принятия таких решений осложняет факт отсутствия прямой связи между дефектом и ущербом, в особенности, когда дефект не относится к группе «нарушение показателей назначения» и к классу «критический дефект». Так, например, далеко не всегда наличие трещин или участков неуплотненного бетона в монолитных ж/б конструкциях приводит к потере несущей способности или ограничению эксплуатации. В этой связи для формализации процесса принятия таких решений авторы предлагают использовать риск-ориентированный подход. Согласно формуле (1), можно оценить риск ущерба в результате появления дефекта D

$$R(D) = \sum_i P(U | D_i) U(D_i), \quad (4)$$

где $P(U | D_i)$ — вероятность ущерба при появлении дефекта D_i ; $U(D_i)$ — ущерб в результате появления i -го дефекта.

Для примера с монолитными несущими конструкциями в зависимости от группы дефектов



Рис. 3. Классификация дефектов по степени ущерба
Fig. 3. Classification of defects by degree of damage

ущерб может быть следующим: потеря несущей способности, остановка эксплуатации, затраты на преждевременный капитальный ремонт и/или усиление конструкций, снижение энергоэффективности, затраты на ремонт поверхности бетона. Оценку ущерба принято представлять в виде финансовых затрат, которые он за собой влечет. Способы оценки таковых затрат относятся к сметному делу и достаточно хорошо изучены и формализованы. В данной статье представлен подход для оценки вероятности ущерба. Он заключается в применении теоремы Байеса для расчета вероятности ущерба $P(U | D_i)$, выявленного дефекта D_i через известные априорные вероятности:

$$P(U | D_i) = \frac{P(D_i | U)P(U)}{P(D_i)}, \quad (5)$$

где $P(D_i | U)$ — частота (априорная вероятность) ущерба по причине появления i -го дефекта; $P(U)$ — вероятность данного вида ущерба для рассматриваемых конструкций; $P(D_i)$ — вероятность появления i -го дефекта.

Все указанные априорные вероятности могут быть рассчитаны на основании анализа статистических данных: $P(D_i | U)$ и $P(U)$ — по результатам обследований зданий и сооружений, анализа технических заданий на текущие и капитальные ремонты, реконструкцию; $P(D_i)$ — по результатам анализа статистики нарушений, выявленных строительным контролем технического заказчика, государственным строительным контролем на ранее построенных объектах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье обоснована необходимость применения РОП в системе управления охраной труда и контролем качества со стороны технического заказчика. Выполнен обзор научных исследований в области строительства, посвященных менеджменту риска, и сделан вывод об актуальности применения риск-ориентированного подхода в деятельности технического заказчика. Предложен способ расчета риска травматизма, основанный на расчете апостериорной вероятности травматизма, преимущество которого заключается в учете трех априорных вероятностей: вероятность травматизма в строительстве, вероятность травматизма в результате нарушения конкретных требований ОТиТБ и вероятность возникновения данных нарушений на строительных объектах. Представлена классификация строительных дефектов по группам в зависимости от вида и степени ущерба. Разработана методика расчета риска ущерба при появлении строительных дефектов с использованием байесовского подхода, основанная на определении трех априорных вероятностей: вероятность ущерба для рассматриваемых видов конструкций, вероятность ущерба по причине конкретных строительных дефектов и вероятность появления данных видов дефектов. Дальнейшее исследование должно включать разработку классификаций дефектов для различных строительных конструкций, определение критериев оценки степени опасности строительных дефектов, значений априорных вероятностей неблагоприятных событий при расчете риска, разработку методики управления рисками.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Szymanski P. Risk management in construction projects // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 208. Pp. 174–182. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.11.036
2. Лapidус А.А., Чанидзе О.Д. Анализ факторов риска в строительной отрасли // *Русский инженер*. 2020. № 2 (67). С. 45–48.
3. Алексеев А.О., Пашковец В.С., Житлова В.А. Пример применения риск-ориентированного подхода в строительстве // *Master's journal*. 2018. № 1. С. 87–95.
4. Лapidус А.А., Чанидзе О.Д. Факторы и источники риска в жилищном строительстве // *Строительное производство*. 2020. № 3. С. 2–9. DOI: 10.54950/26585340_2020_3_2
5. Wang T., Gao S., Li X., Ning X. A meta-network-based risk evaluation and control method for industrialized building construction projects // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 205. Pp. 552–564. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.09.127
6. Лapidус А.А., Воробьев А.С. Идентификация и анализ технических рисков при строительстве малоэтажных жилых зданий // *Строительное производство*. 2021. № 2. С. 2–7. DOI: 10.54950/26585340_2021_2_2
7. Ayudhya B.I.N., Kunishima M. Assessment of risk management for small residential projects in Thailand // *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 164. Pp. 407–413. DOI: 10.1016/j.procs.2019.12.200
8. Zhou H., Zhao Y., Shen Q., Yang L., Cai H. Risk assessment and management via multi-source information fusion for undersea tunnel construction // *Automation in Construction*. 2020. Vol. 111. P. 103050. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.103050
9. Qing L., Rengkui L., Jun Z., Quanxin S. Quality risk management model for railway construction projects // *Procedia Engineering*. 2014. Vol. 84. Pp. 195–203. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.426
10. Александрова А.В., Крюков М.А., Левчук А.А., Капустянов А.А. Рекомендации по внедрению системы внутреннего контроля соблюдения требований охраны труда (на примере сферы обслуживания)

живания автомобильных дорог) // *Механика, оборудование, материалы и технологии*. 2020. С. 34–40.

11. *Коган Л.В.* Применение методов приспособления к риску в обеспечение качества деятельности девелоперской компании // *Управление экономическими системами: электронный научный журнал*. 2019. № 6 (124). С. 12.

12. *Zalk D.M., Spee T., Gillen M., Lentz T.J., Garrod A., Evans P. et al.* Review of qualitative approaches for the construction industry: designing a risk management toolbox // *Safety and Health at Work*. 2011. Vol. 2. Issue 2. Pp. 105–121. DOI: 10.5491/SHAW.2011.2.2.105

13. *Carretero-Ayuso M.J., PazSaez-Perez M.* Construction flaws in facing brick facades and the risk of associated litigation // *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 33. Issue 3. P. 101633. DOI: 10.1016/j.job.2020.101633

14. *Mohamed M., Tran D.Q.* Risk-based inspection for concrete pavement construction using fuzzy sets and Bayesian networks // *Automation in Construction*. 2021. Vol. 128. P. 103761. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103761

15. *Токарский А.Я., Воробьев А.С., Данилочкин М.Н., Топчий Д.В.* Определение квалитетрических параметров строительных объектов в ходе осуществления государственного строительного надзора при риск-ориентированном подходе // *Строительное производство*. 2019. № 1. С. 70–74. DOI: 10.54950/26585340_2019_1_70

16. *Вильданов Р.А., Кузьмина Т.К.* Актуальность разработки методов осуществления функций государственного строительного надзора в жилищном строительстве при риск-ориентированном

подходе // *Строительное производство*. 2020. № 2. С. 144–149. DOI: 10.54950/26585340_2020_2_144

17. *Liu R., Liu Z., Liu H.-C., Shi H.* An improved alternative queuing method for occupational health and safety risk assessment and its application to construction excavation // *Automation in Construction*. 2021. Vol. 126. Issue 4. P. 103672. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103672

18. *Nicolaidou O., Dimopoulos C., Varianou-Mikellidou C., Mikellides N., Boustras G.* Weak signals management in occupational safety and health: A Delphi study // *Safety Science*. 2022. Vol. 146. Issue 2. P. 105558. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105558

19. *Sousa V., Almeida N.M., Dias L.A.* Risk-based management of occupational safety and health in the construction industry — Part 2: Quantitative model // *Safety Science*. 2015. Vol. 74. Pp. 184–194. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.01.003

20. *Liu R., Liu Z., Liu H.-C., Shi H.* An improved alternative queuing method for occupational health and safety risk assessment and its application to construction excavation // *Automation in Construction*. 2021. Vol. 126. Issue 4. P. 103672. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103672

21. *Zheng X.-W., Li H.-N., Gardoni P.* Life-cycle probabilistic seismic risk assessment of high-rise buildings considering carbonation induced deterioration // *Engineering Structures*. 2021. Vol. 231. Issue 6. P. 111752. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.111752

22. *Zheng X.-W., Li H.-N., Yang Y.-B., Li G., Huo L.-S., Liu Y.* Damage risk assessment of a high-rise building against multihazard of earthquake and strong wind with recorded data // *Engineering Structures*. 2019. Vol. 200. Issue 12. P. 109697. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109697

Поступила в редакцию 28 ноября 2021 г.

Принята в доработанном виде 25 февраля 2022 г.

Одобрена для публикации 25 февраля 2022 г.

Об авторах: **Азарий Абрамович Лapidус** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 364784; lapidus58@mail.ru;

Александр Николаевич Макаров — кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 807826, Scopus: 57192369140, ORCID: 0000-0001-8421-1013; anmakarof@yandex.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Szymanski P. Risk management in construction projects. *Procedia Engineering*. 2017; 208:174-182. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.11.036

2. Lapidus A., Chapidze O. Analysis of risk factors in the construction industry. *Russian Engineer*. 2020; 2(67):45-48. (rus.).

3. Alekseev A.O., Pashkovec V.S., Zhitlova V.A. An example of the risk-based approach application in civil engineering. *Master's journal*. 2018; 1:87-95. (rus.).
4. Lapidus A.A., Chapidze O.D. Factors and risks in residential construction. *Construction Production*. 2020; 3:2-9. DOI: 10.54950/26585340_2020_3_2 (rus.).
5. Wang T., Gao S., Li X., Ning X. A meta-network-based risk evaluation and control method for industrialized building construction projects. *Journal of Cleaner Production*. 2018; 205:552-564. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.09.127
6. Lapidus A.A., Vorobyov A.S. Identification and analysis of technical risks in the construction of low-rise residential buildings. *Construction Production*. 2021; 2:3-7. DOI: 10.54950/26585340_2021_2_2 (rus.).
7. Ayudhya B.I.N., Kunishima M. Assessment of risk management for small residential projects in Thailand. *Procedia Computer Science*. 2019; 164:407-413. DOI: 10.1016/j.procs.2019.12.200
8. Zhou H., Zhao Y., Shen Q., Yang L., Cai H. Risk assessment and management via multi-source information fusion for undersea tunnel construction. *Automation in Construction*. 2020; 111:103050. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.103050
9. Qing L., Rengkui L., Jun Z., Quanxin S. Quality risk management model for railway construction projects. *Procedia Engineering*. 2014; 84:195-203. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.426
10. Aleksandrova A.V., Kryukov M.A., Levchuk A.A., Kapustyanov A.A. Recommendations on implementing an internal control system for compliance with occupational health and safety requirements (for example, road maintenance). *Mechanics, Equipment, Materials and Technologies*. 2020; 34-40. (rus.).
11. Kogan L.V. Application of methods of adaptation to risk in the quality assurance activities of the development company. *Management of Economic Systems: Electronic Scientific Journal*. 2019; 6(124):12. (rus.).
12. Zalk D.M., Spee T., Gillen M., Lentz T.J., Garrod A., Evans P. et al. Review of qualitative approaches for the construction industry: designing a risk management toolbox. *Safety and Health at Work*. 2011; 2(2):105-121. DOI: 10.5491/SHAW.2011.2.2.105
13. Carretero-Ayuso M.J., PazSaez-Perez M. Construction flaws in facing brick facades and the risk of associated litigation. *Journal of Building Engineering*. 2021; 33(3):101633. DOI: 10.1016/j.jobbe.2020.101633
14. Mohamed M., Tran D.Q. Risk-based inspection for concrete pavement construction using fuzzy sets and bayesian networks. *Automation in Construction*. 2021; 128:103761. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103761
15. Tokarsky A., Vorobev A., Danilochkin M., Topchiy D. Determination of qualimetric parameters of construction objects during the implementation of state construction supervision at risk-oriented approach. *Construction Production*. 2019; 1:70-74. DOI: 10.54950/26585340_2019_1_70 (rus.).
16. Vil'danov R.A., Kyz'mina T.K. The relevance of developing methods for the implementation of the functions of state construction supervision in housing with a risk-based approach. *Construction Production*, 2020; 2:144-149. DOI: 10.54950/26585340_2020_2_144 (rus.).
17. Liu R., Liu Z., Liu H.-C., Shi H. An improved alternative queuing method for occupational health and safety risk assessment and its application to construction excavation. *Automation in Construction*. 2021; 126(4):103672. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103672
18. Nicolaidou O., Dimopoulos C., Varianou-Mikellidou C., Mikellides N., Boustras G. Weak signals management in occupational safety and health: A Delphi study. *Safety Science*. 2022; 146(2):105558. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105558
19. Sousa V., Almeida N.M., Dias L.A. Risk-based management of occupational safety and health in the construction industry — Part 2: Quantitative model. *Safety Science*. 2015; 74:184-194. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.01.003
20. Liu R., Liu Z., Liu H.-C., Shi H. An improved alternative queuing method for occupational health and safety risk assessment and its application to construction excavation. *Automation in Construction*. 2021; 126(4):103672. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103672
21. Zheng X.-W., Li H.-N., Gardoni P. Life-cycle probabilistic seismic risk assessment of high-rise buildings considering carbonation induced deterioration. *Engineering Structures*. 2021; 231(6):111752. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.111752
22. Zheng X.-W., Li H.-N., Yang Y.-B., Li G., Huo L.-S., Liu Y. Damage risk assessment of a high-rise building against multihazard of earthquake and strong wind with recorded data. *Engineering Structures*. 2019; 200(12):109697. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109697

Received November 28, 2021.

Adopted in revised form on February 25, 2022.

Approved for publication on February 25, 2022.

BIONOTES: Azarij A. Lapidus — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technologies and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 364784; lapidus58@mail.ru;

Aleksandr N. Makarov — Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Technologies and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 807826, Scopus: 57192369140, ORCID: 0000-0001-8421-1013; anmakarof@yandex.ru.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Государственные закупки в строительстве — зарубежная практика

Елена Александровна Гусакова¹, Александр Сергеевич Павлов^{1,2}

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

² *Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций (ВНИИАЭС); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Распределение и получение заказов на проектирование и строительство — один из важнейших элементов организации жизненного цикла строительства. Представляет интерес изучение правил распределения государственных заказов и практики их применения в различных странах. Анализируется опыт ведущих экономик мира в области организации и проведения торгов на строительство. Цель исследования — разработка научно обоснованных предложений по совершенствованию федерального законодательства в области государственных закупок строительных объектов и работ.

Материалы и методы. Рассматриваются оригинальные нормативно-правовые документы по организации конкурсов на строительные работы в ряде стран, а также в международных организациях; тендерные правила США, Франции, Германии, Новой Зеландии, Японии, Китая. Используются и обобщаются материалы обзоров, выполненных учеными и специалистами.

Результаты. В результате анализа нормативно-правовых документов выявлены основные методы организации тендеров на строительные и проектные работы. С точки зрения формирования равноправных и ответственных отношений государственного заказчика и строительного подрядчика найдено много общих организационно-экономических подходов и методов.

Выводы. Установлено, что ряд методов практически не применяется в России, например, конкурентные переговоры и двухэтапный тендер. Напротив, некоторые особенности российского законодательства будут выглядеть странно для зарубежного читателя, например, установление заказчиком начальной цены контракта или описание правил электронного документооборота в федеральном законе. Авторы считают, что в российском законодательстве целесообразно отразить возможность конкурентных переговоров, больше уделять внимания вопросам обеспечения качества и долговечности объектов, соблюдению договорных сроков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: государственные закупки, строительные работы, тендер, конкурс, торги, конкуренция, зарубежный опыт

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Гусакова Е.А., Павлов А.С. Государственные закупки в строительстве — зарубежная практика // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 2. С. 242–252. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.242-252

Автор, ответственный за переписку: Александр Сергеевич Павлов, PavlovAS@mgsu.ru.

Public procurement in construction: international practice

Elena A. Gusakova¹, Alexander S. Pavlov^{1,2}

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

² *All-Russian Research Institute for Nuclear Power Plants Operation (VNIIAES);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The distribution and receipt of design and construction orders is a most important element in the construction life cycle. It is of considerable interest to study the rules governing the distribution of state orders and the practice of their application in various countries. This article examines the experience of the leading world economies accumulated in the bidding for construction projects.

Materials and methods. The authors studied original legal documents on the organization of tenders for construction works in several countries, as well as in international organizations. The tender rules of the USA, France, Germany, New Zealand, Japan, China are considered. Materials of reviews and scientific researches, conducted by other scientists, are also used and summarized.

Results. The principal methods for organizing tenders for construction and design works were identified as a result of analysis of regulatory documents. The authors have found many common approaches and methods used to assure equal and responsible relations between the state customer and the construction contractor.

Conclusions. It has been established that a number of methods, widely used abroad, are practically not used in Russia, for

example, competitive negotiations and two stage tendering. On the contrary, a foreign reader may think that some provisions of the Russian legislation are strange, for example, initial contract price setting by the customer or electronic document management rules in the federal law.

KEYWORDS: public procurement, construction work, tender, bidding, competition, international experience

FOR CITATION: Gusakova E.A., Pavlov A.S. Public procurement in construction: international practice. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(2):242-252. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.242-252 (rus.).

Corresponding author: Alexander S. Pavlov, PavlovAS@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Распределение и получение заказов на проектирование и строительство — один из важнейших элементов организации жизненного цикла (ЖЦ) строительства. Часто на этой стадии решается судьба стройки, так как неудачно подобранный исполнитель (подрядчик) может не выполнить стоящие перед ним задачи или затратить чрезмерно много ресурсов. Основное внимание законодателей направлено при этом на получение заказов за счет бюджетного финансирования, хотя корпоративное финансирование в мире занимает большую часть инвестиций, обычно порядка 80 %.

В целом в зарубежных научных публикациях, посвященных этой тематике, отмечается как критическая важность методов организации государственных заказов в строительстве, так и фрагментарность и недостаточная теоретическая исследованность их механизмов и правил [1]. В исследованиях государственных заказов в строительной отрасли рассматриваются самые разные подходы к моделированию выбора подрядчика, критериям модели, методам принятия решений и механизмам отбора:

- изучаются теория и факторы качества взаимоотношений подрядчиков и субподрядчиков в условиях растущей конкуренции [1];
- поэтапные подходы к выбору эффективных подрядчиков, двухцелевые оптимизационные модели минимизации затрат и рисков [2];
- математические модели нечеткой логики для оценки факторов риска при выборе подрядчиков в строительной отрасли [3];
- модели прецедентного отбора [4];
- диалоговое пространство цепочек закупок, специфические алгоритмы социальных закупок в управлении проектами, менталитет закупок [5] и многие другие подходы.

Анализируются содержательные аспекты формальных и неформальных механизмов давления на зависимые организации — принудительного изоморфизма, который считается наиболее мощной движущей силой принятия социальных закупок в строительных проектах. Изучаются закономерности миметического изоморфизма и нормативного изоморфизма, когда организации вынуждены меняться под действием внешних сил, нормативов, профессиональных стандартов или сетей [5].

Существуют репрезентативные статистические исследования контрактов на государственные закупки, посвященные злоупотреблениям, фаворитизму и прикладным перспективам использования моделей машинного обучения для прогнозирования неэффективности и коррупции в данной сфере [6].

Большое количество научных работ и обзоров приводят особенности и возможности цифровых технологий закупок, смарт-контракты с применением технологии блокчейна, взаимосвязи между цифровыми технологиями и решениями проблематики государственного управления и госзакупок [7, 8]. Отмечается, что открытые данные, в частности публикации о государственных закупках (тендерах), являются источником объективной информации для принятия решений заинтересованными сторонами, а цифровые технологии — основой устойчивости цепочек поставок и закупок в строительстве [9, 10].

Интеллектуальные бизнес-процессы и методы обработки массивных данных позволяют анализировать количественную, географическую, отраслевую конкурентоспособность и межрегиональную мобильность участников государственных закупок [11].

В отечественных трудах можно встретить обзоры и критический анализ тендерного законодательства в России и за рубежом, однако почти не рассматриваются особенности тендеров в области строительства [12–18]. В связи с этим представляет интерес изучение правил распределения государственных инвестиционных заказов и практики их использования в различных странах с тем, чтобы обсудить целесообразность их применения в России.

Целью исследования, результаты которого отражаются в предлагаемом цикле статей, является разработка научно обоснованных предложений по совершенствованию федерального законодательства в области государственных закупок строительных объектов и работ. Задача данной статьи — анализ опыта ведущих экономик мира в области проведения торгов на строительство, выявление преимуществ и недостатков регионального и локального законодательства в различных странах. Необходимо обобщить организационно-экономические предпосылки выбора строительных подрядчиков, обеспечения равноправного взаимодействия с государственными заказчиками и другими участниками процессов ЖЦ строительных объектов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Не являясь юристами, авторы сосредоточили анализ на организационных и экономических аспектах проведения торгов, которые, по нашему мнению, составляют квинтэссенцию этого важного этапа ЖЦ возведения зданий и сооружений. Рассматриваются правила государственных закупок в таких странах мира, как США, Франция, Германия, Китай и других, а также международные соглашения. Выявляются характерные особенности, присущие основным развитым странам. Для этого используются оригинальные документы, доступ к которым обычно свободен. Основные нормативно-правовые документы переведены авторами на русский язык, многие из них обсуждаются впервые. В некоторых случаях применяются обзоры отечественных ученых, хотя в них главным образом излагаются общие принципы государственных закупок, а не только строительной отрасли.

Ключевыми методами исследования выбраны системный анализ и анализ ЖЦ строительного объекта, базирующиеся на понятиях системотехники в строительстве [19]. Эти методы, показавшие применимость теории системотехники в современный период, успешно используются авторами на протяжении ряда лет¹. В дальнейшем предполагается критически изучить аналогичный российский опыт и подготовить обсуждение концептуальных предложений для совершенствования закупочных правил в России.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наиболее общие нормативно-правовые акты в области международной торговли, и в частности, государственных закупок издает ЮНСИТРАЛ — автономный орган ООН в области международной торговли (United Nations Commission of International Trade Law — UNCITRAL). В 2011 г. был принят модельный закон о публичных закупках, в 1994 г. — модельный закон о поставках товаров, строительных работ и услуг². Но, несмотря на название, каких-либо особенностей строительства в документе не учтено: фактически строительство упомянуто как синоним слова «работы».

По индексу эффективности государственных закупок, который вычисляется Оксфордским университетом, первое место занимает Новая

Зеландия³. Разработанные правила применяются к закупкам стоимостью более 0,1 млн долл. и к строительным проектам на сумму более 9 млн долл. без НДС («пороговая» стоимость). Отдел государственных закупок и центры экспертизы проводят политику, позволяющую малым и средним предприятиям успешно участвовать в поставках для центрального правительства. В государственных правилах поставок специальный раздел посвящен строительству и реконструкции зданий, а также закупкам строительных материалов⁴. Начальная стоимость заказа определяется государственным учреждением, но используется лишь для установления факта превышения пороговой стоимости закупки.

Предусмотрено, что в строительных проектах могут присутствовать дополнительные работы, например, необходимость некоторых земляных работ может быть обнаружена только при вскрытии поверхности земельного участка. Главным видом тендера являются открытые торги, однако продолжение строительства здания может быть поручено подрядчику без объявления конкурса, если замена подрядчика повлечет снижение эффективности строительства. Обязательными являются соблюдение строительных норм Новой Зеландии, а также использование передовых технологий.

Правительство Новой Зеландии использует строительные подряды для улучшения квалификации и развития местных строительных организаций. В частности, государственные заказчики должны включать в требования и в критерии оценки вопросы повышения квалификации и обучения подрядчиков, субподрядчиков, а также проверять исполнение этих требований. Государственные заказчики должны также учитывать требования охраны труда и техники безопасности персонала подрядчиков, необходимость создания рабочих мест для коренного населения (маори, полинезийцы) и женщин. Таким образом, благополучное состояние подрядной организации служит залогом успешного выполнения заказа. Хорошо бы это понимать и в других странах.

В США закупки в области недвижимости непосредственно для федеральных нужд ограничиваются в основном строительством или арендой рабочих мест для 1,1 млн федеральных служащих. Обслуживанием и строительством ведают служба общественных зданий (Public Building Service), а проводит федеральная служба закупок (Federal Acquisition Service). Обе службы входят в администрацию общих служб правительства (General Service Administration), которая размещает информацию на сайте федеральных предложений для

¹ Гусакова Е.А., Павлов А.С. Основы организации и управления в строительстве : учебник и практикум для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. М. : Юрайт, 2021. 648 с.

² UNCITRAL Model Law on Procurement of Goods, Construction and Services with Guide to Enactment. URL: <https://uncitral.un.org/sites/uncitral.un.org/files/media-documents/uncitral/en/ml-procure.pdf>

³ The International Civil Service Effectiveness Index InCiSE+. Result Report. Oxford, 2019.

⁴ Government Procurement Rules, 4th ed. New Zealand, 2019.

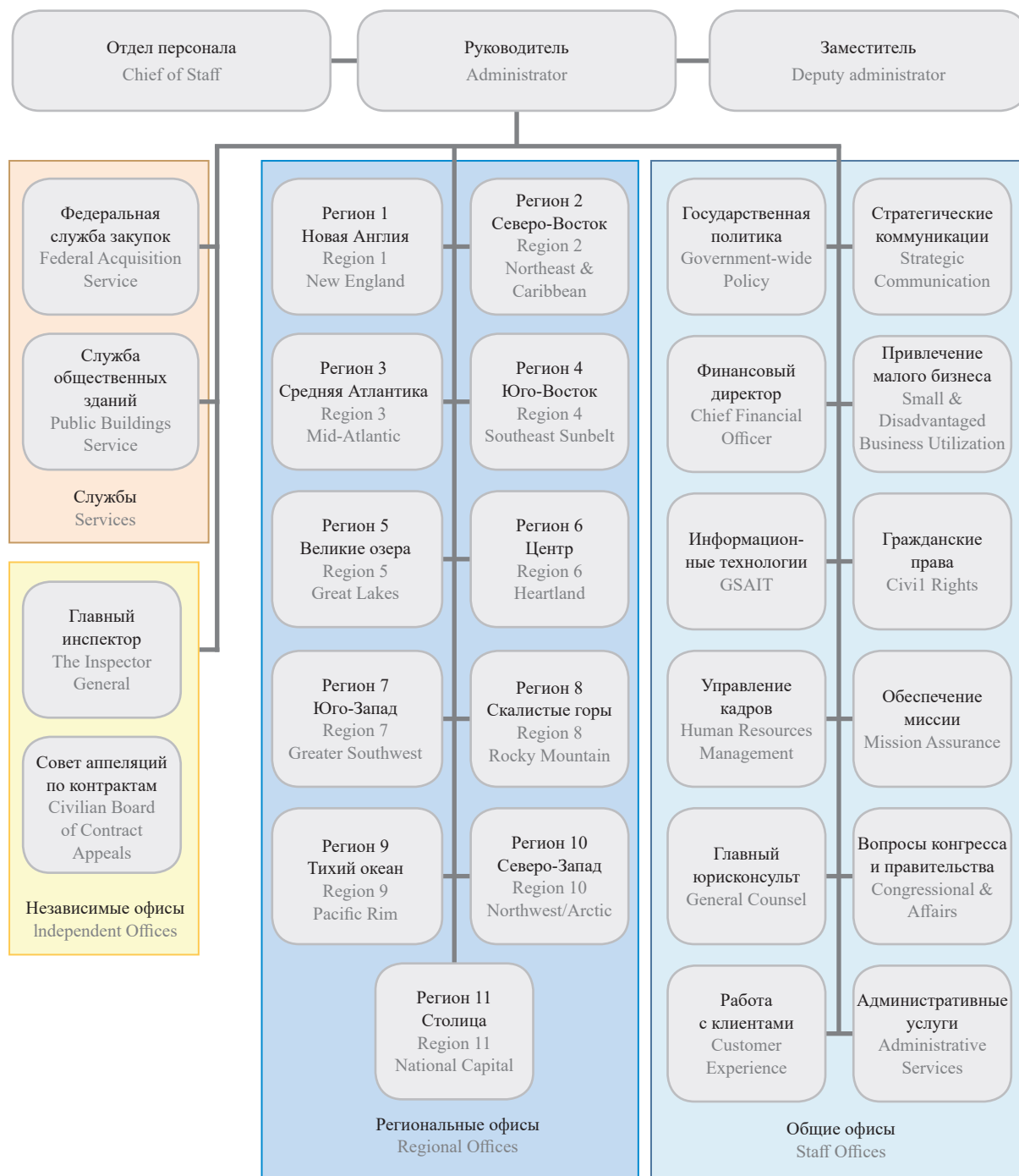
бизнеса. Структура администрации представлена на рис.⁵. Однако эти закупки составляют небольшую долю федеральных расходов, в которых тон задают оборонные расходы. Федеральная собственность в США включает земли (в том числе, заповедные), инфраструктурные и оборонные объекты. В 2020 г. гражданские здания и сооружения в федеральной собственности составляли

9 848 млрд долл., а собственность министерства обороны — 17 254 млрд долл.⁶

Заказы на проектные и строительные работы распределяются в соответствии с федеральным положением о закупках (Federal Acquisition Regulation). Положение включает большое количество статей, посвященных различным направлениям

⁵ GSA Organization. URL: <https://www.gsa.gov/about-us/gsa-organization>

⁶ FRPP Summary Report Library. URL: <https://www.gsa.gov/policy-regulations/policy/real-property-policy/data-collection-and-reports/frpp-summary-report-library>



Структура администрации общих служб правительства США
US General Service Administration

контракта. Проекты нормативных актов публикуются и обсуждаются общественностью до принятия, но небольшим компаниям иногда трудно проследить за всеми изменениями обширного законодательства.

В отношении контрактов на строительство и функции архитектора-инженера действует ч. 36 федерального Положения о закупках⁷. Указано, в частности, что смета на здание может быть составлена государственным заказчиком для ориентира на торгах, но, как правило, эта оценка не разглашается. Заказчик должен отклонить предложение, если оно сильно занижено или завышено. Для заказов с ценой свыше 100 тыс. долл. предусматривается банковская гарантия. При стоимости заказа до 1,5 млн долл. предпочтительным является фиксированная цена, при большей стоимости — договор с единичными расценками.

Конкурс на проектные работы проходит обычно в два этапа. На первом этапе рассматриваются заявки и проводятся собеседования, на основе которых фирмы-претенденты ранжируются в соответствии с их квалификацией. Затем представители службы ведут переговоры о цене и сроках выполнения заказа с фирмами с наибольшим рангом. Могут также рассматриваться портфолио проектных фирм для ранжирования без конкретного объекта. Такой процесс отбора может занимать до года.

Могут быть выданы отдельные лоты на проектирование и строительство (Design-bid-build) или совместные лоты (Design-build). В первом случае используются обычно двухэтапные торги. При этом проектирование и строительство возможно поручить одной и той же фирме только с разрешения полномочного представителя правительства. Проектировщики должны соблюдать федеральные рекомендации по эффективному, безопасному и долговечному строительству.

Конкурс на строительно-монтажные работы проводится в один или два этапа. В заявках может быть указана взаимосвязь между техническими и ценовыми предложениями. Переговоры с участниками конкурса ведутся, чтобы уточнить технические предложения и цену контракта. Подрядчику предоставляется время для ознакомления не только с проектом, но и с площадкой строительства. Совместно оговариваются вопросы охраны площадки, обеспечения пожарной безопасности, охраны окружающей среды и т.п.

При том, что подрядчик в ходе выполнения заказа несет строгую ответственность, перед началом конкурса заказчик делает все, чтобы максимально открыто проинформировать участника торгов об особенностях проекта. Обычно не менее 12 %

объема работ генеральный подрядчик должен выполнить своими силами. Тем не менее устройство инженерных сетей и электромонтажные работы, как правило, отдаются на субподряд. Большинство договоров заключается в течение 60 дней с момента получения предложений⁸.

При отборе фирм на роль архитектора-инженера (аналог инжиниринговой фирмы в европейском строительстве) учитываются профессиональная квалификация сотрудников, результаты выполненных работ и т.д. Отбор фирм осуществляется комиссией под председательством члена правительства. Цена работ не имеет решающего значения. Оценка стоимости работ архитектора-инженера со стороны правительственной комиссии не разглашается, окончательная цена устанавливается путем переговоров с предварительно отобранными фирмами. Архитектор-инженер несет ответственность за результаты оказанных им услуг — это может быть разработка или проверка проектной документации, а также контроль исполнения проекта.

Отметим, что между США, Канадой и Мексикой заключено Североамериканское соглашение о свободной торговле (NAFTA), в котором применяется межнациональное регулирование закупок для крупных контрактов, превышающих минимальное «пороговое» значение. Предусмотрено ведение списка квалифицированных поставщиков, из числа которых могут быть выбраны участники торгов для конкретных заказов.

Для европейских стран большое значение имеют директивы Европейского союза⁹, основанные на общих принципах прозрачности, равноправия, отсутствия дискриминации, взаимного признания, пропорциональной ответственности и др. [20]. Однако под действие этой директивы подпадают только те контракты, которые превышают определенный порог, устанавливаемый в настоящее время в размере до 5,5 млн евро для строительных работ и менее 0,5 млн евро для проектных работ. В остальных случаях действует национальное законодательство, при этом объем таких закупок в несколько раз превышает объем крупных (пороговых) закупок. Отдельные директивы ЕС приняты по закупкам в области обороны и безопасности, а также в области энергоснабжения, водоснабжения, транспорта и связи.

Для поставщиков и подрядчиков в европейском законодательстве применяется сводный термин «экономический оператор» (economic operator), т.е. любое юридическое или физическое лицо, предла-

⁸ Part 36. Construction and Architect-Engineer Contracts. URL: <https://www.ecfr.gov/current/title-48/chapter-1/subchapter-F/part-36>

⁹ U.S. General Services Administration. Bidding on Federal Construction Projects. URL: <https://www.gsa.gov/real-estate/real-estate-services/for-businesses-seeking-opportunities/bidding-on-federal-construction-projects>

⁷ FRPP Summary Report Library. URL: <https://www.gsa.gov/policy-regulations/policy/real-property-policy/data-collection-and-reports/frpp-summary-report-library>

гающее товары, работы или услуги на свободном рынке. Если экономические операторы объединяются в группы (консорциумы) для выполнения заказа, для них могут разрабатываться специальные квалификационные требования. Подрядчик может выполнять работы как собственными силами, так и с помощью субподрядчиков. Некоторые заказы возможно зарезервировать для инвалидов и других социально обособленных операторов. Срок подачи заявок обычно от 30–35 дней, в срочных случаях 10–15 дней.

В отличие от американских правил, в Европе для снятия национальных барьеров преимущество отдается процедурам открытых торгов, а переговорные процессы рекомендуются для инновационных и сложных комплексных контрактов, архитектурных и инженерных услуг, т.е. в случаях, когда заказчик не полностью представляет себе результат исполнения заказа. В то же время заказчикам предоставляется свобода при выборе способа закупок, однако способ закупки нельзя менять по ходу объявленной процедуры. В частности, конкурентные переговоры часто проводятся при заключении договоров государственно-частного партнерства.

Закупающие организации должны публиковать ежегодные программы закупок (предварительные уведомления), тендерные объявления и подробные решения об итогах конкурсов. Проектные работы и возведение объектов могут разыгрываться как вместе, так и по отдельности. Смешение различных объектов в одном лоте допускается при соответствующем обосновании, например, при строительстве парковки совместно с жилым зданием. Заказы, стоимость которых превышает 100 тыс. евро, публикуются на многоязычном портале TED — Tenders electronic daily¹⁰.

С 2014 г. учитываются критерии доступности для инвалидов в спецификации любых работ. Впервые включено положение о выполнении генподрядчиком части работ своими силами по требованию заказчика. Предусмотрен также новый тип контракта — динамическая система закупок для приобретения товаров широкого потребления, обычно присутствующего на рынке, по каталогам. Система полностью работает в электронном виде. С 2018 г. правило электронных коммуникаций распространено и на другие закупочные процедуры, включая выставление счетов за выполненные работы.

Представляет интерес инновационное партнерство — заключение соглашения о сотрудничестве частных фирм с государством в области разработки новых продуктов. К инновациям возможно отнести также создание и строительство новых предприятий. Такое партнерство может включать этапы исследований, разработок и закупок. Конкурсы

¹⁰ Tenders electronic daily. URL: <https://ted.europa.eu/TED/main/HomePage.do>

на архитектурные проекты проводятся анонимно, с привлечением компетентного жюри.

В Великобритании до конца 2020 г. действовали директивы Европейского союза. В настоящее время действуют правила о государственных контрактах¹¹, которые фактически до сих пор повторяют правила Евросоюза. В частности, заказы также публикуются на TED¹⁰. На Великобританию и Францию приходится подавляющая часть закупок с использованием конкурентных переговоров.

С 1 апреля 2019 г. во Франции вступил в силу новый кодекс государственных заказов¹², посвященный в основном строительным и инвестиционным контрактам. Кодекс состоит из законодательной и регламентирующей частей. Каждая часть включает преамбулу, определения, правила государственных закупок и концессий.

Во Франции существует два основных типа конкурсов: открытые и ограниченные (двухэтапные). Заключаются также рамочные контракты на срок до восьми лет. Предмет контрактов может включать проектирование, строительство, реконструкцию, эксплуатацию и снос объектов в любых сочетаниях. Отдельная глава посвящена «партнерским» торгам, т.е. заключению комплексных контрактов для группы экономических операторов, включая строительство, проектирование, эксплуатацию и обслуживание объекта, а также участие в финансировании. В кодексе подробно регламентированы случаи, когда государственный заказчик может не допустить к процедуре закупок отдельных лиц за различные нарушения.

В Германии официальные положения о правилах застройки содержатся в основном строительном законе Германии «Baugesetzbuch» (аналог нашего Градостроительного кодекса)¹³. Связанные с тендером процедуры носят сокращенное название AVA: Ausschreibung — Vergabe — Abrechnung (объявление тендера — размещение заказа — выставление счетов). Компьютерные программы для поддержки тендерных процедур также часто содержат в названии аббревиатуру AVA.

Закупка строительных работ для государственных нужд производится в соответствии с правилами предоставления строительных контрактов (VOB: Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen)¹⁴. Они содержат три части: общие положения о предоставлении строительных услуг, общие условия контракта на выполнение строительных работ, общие

¹¹ The Public Contracts Regulations 2015. URL: https://www.lbhf.gov.uk/sites/default/files/ukxi_20150102_en_tcm21-194241.pdf

¹² Code de la commande publique. URL: <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGITEXT000037701019/>

¹³ Baugesetzbuch. Bundesamt für Justiz. 2021.

¹⁴ Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB). Beuth Verlag. 2019.

технические условия контракта на строительные работы. Следует отметить, что VOB не являются законом, а представляют собой принимаемый государственным заказчиком и подрядчиком свод правил, однако для государственных закупок служат обязательными.

Общие положения VOB (часть А) подразумевают, что заказы ниже некоторого порогового значения регулируются национальным законодательством, более крупные заказы — правилами Европейского союза или Всемирной торговой организации (ВТО).

Тендеры разделяются на публичные, тендеры с ограниченным участием и упрощенные (для небольших объемов). На публичных тендерах количество участников не ограничивается. На тендеры с ограниченным участием должно быть приглашено не менее пяти участников. Без проведения конкурса могут быть переданы заказы на строительные работы стоимостью до 50–150 тыс. евро (в зависимости от вида работ), а также по причинам секретности, срочности, патентной защиты и т.п. В этом случае следует рассмотреть не менее трех заявок.

При составлении договоров указываются, как правило, единичные расценки на выполняемые работы, за адекватность которых отвечает подрядчик. За определение объемов работ отвечает заказчик. Поэтому риски заказчика и подрядчика естественным образом разделяются. Проектировщик составляет тендерную документацию, которая формально не является частью проектной документации. Основу ее составляет перечень работ с предполагаемыми объемами — *Leistungsverzeichnis (LV)*. Правила четко различают случаи представления заказчиком перечня работ без указания объемов и перечня с указанием объемов и проектной документацией. Подрядчик может представить свой LV с ограниченным перечнем работ.

Если объем работ известен, договор может быть заключен с «паушальной» (неделимой) ценой. Это удобно для заказчика, однако может вызвать сложности при досрочном расторжении контракта.

При неопределенных видах работ (например, при ремонте и реконструкции) возможно заключение договора с фиксированной почасовой ставкой оплаты труда. Остальная часть оплачивается по фактическим расходам. При неопределенном объеме работ могут быть заключены рамочные соглашения, которые уточняются поэтапно.

Участник конкурса указывает объемы выручки за последние три финансовых года и выполнение строительных работ за последние пять лет, количество рабочих и руководящего технического персонала в последние три года. Показывается информация об уплате налогов и взносов на социальное обеспечение, участии в профессиональных сообществах и др. Заказчик также представляет доказательства экономической и финансовой состоятельности.

На нем лежит также ответственность за результаты инженерных изысканий.

В спецификациях и технических требованиях заказчика не указываются фирменные названия, а приводятся ссылки на национальные или международные стандарты. В крайнем случае, конкретное наименование приводится с пометкой «или эквивалент». Заказчик не может отклонить заявку, если участник конкурса докажет равноценность своего технического предложения. Но заявку могут отклонить, если цена предложения будет чрезмерно мала (демпинг).

Обращают на себя внимание жесткие требования к используемым электронным средствам: эти средства должны блокировать досрочный доступ к данным, точно определять время доступа к данным, фиксировать попытки нарушения прав доступа и т.п. Заказчик должен предоставлять всю необходимую информацию об используемых методах шифрования, отслеживания дат, других технических параметрах электронных средств. Электронное предложение подрядчика поступает зашифрованным и открывается только в день подведения итогов конкурса.

Общие технические условия для строительных работ (часть С) одновременно являются национальным стандартом Германии DIN 18299, конкретные требования по каждому виду работ изложены в более чем 60 стандартах серии ATV DIN 183xx.

Китайская Народная Республика считается страной с плановой экономикой, при этом имеет вполне развитое законодательство в области тендерных торгов. Закон о тендерах¹⁵ распространяется на строительные проекты крупных инфраструктурных сооружений, объектов, получивших государственное финансирование или использующих финансирование международных и иностранных организаций. Кроме того, в 2002 г. был принят закон о государственных закупках, последняя редакция принята в 2014 г.¹⁶

В основном закон о тендерах озвучивает требования и ограничения для государственных заказчиков. Административный надзор государства имеет право осуществлять контроль над действиями всех участников тендерных процедур. Так, члены оценочного комитета, передавшие конфиденциальную информацию третьим лицам, подвергаются штрафу до 50 тыс. юаней или уголовному преследованию. Участник тендера не может предлагать цену работ ниже себестоимости и должен указать ответствен-

¹⁵ Закон КНР о проведении тендеров и торгов : принят 11-й сессией Постоянного Комитета ВСНП 9-го созыва 30.08.1999.

¹⁶ Закон КНР о государственных закупках : ред. принята 10-й сессией Постоянного Комитета ВСНП 12-го созыва 31.08.2014. URL: http://www.npc.gov.cn/wxzl/gongbao/2014-11/18/content_1892150.htm

ный персонал и сведения о механизмах и оборудовании.

Для организации конкурсов могут быть привлечены независимые «доверенные агентства». Объявления о конкурсах для иностранных компаний публикуются, в частности, агентством China Bidding Ltd. Конкурс проводится при числе участников не менее трех. Так же, как и США, организаторы конкурса должны распространить специально подготовленную тендерную документацию и организовать посещение площадки будущего строительства.

Закон о государственных закупках охватывает все виды товаров, работ и услуг, в том числе строительных работ. На региональных уровнях создаются агентства по закупкам, которые несут ответственность за эффективность закупок и соблюдение правил. Ответственность за соблюдение правил несут как агентства по закупкам, так и сотрудники надзорных органов.

Государственные закупки могут быть осуществлены путем публичного приглашения к участию в торгах (как основной метод), ограниченного приглашения, конкурентных переговоров, запроса котировок, закупки у единственного поставщика и другими способами. Методом конкурентных переговоров могут быть проведены закупки со сложной технологией, а также закупки, цена которых не может быть рассчитана заранее. Для конкурентных переговоров создается группа, две трети которой составляют независимые эксперты. Проводятся раздельные переговоры с каждым поставщиком.

Закупки у единственного источника проводятся в случаях уникальных товаров, продолжения закупок и чрезвычайных обстоятельств. Запрос котировок осуществляется в случае приобретения стандартизированных товаров. Предпочтение отдается товарам отечественного происхождения.

В 2015 г. в Китае вступило в силу положение о применении закона о государственных закупках¹⁷. В нем было уточнено, в каких средствах массовой информации должна быть опубликована информация о закупках, включая данные о контрактах и результатах исполнения, а также список экспертов. Правила вводят и механизм случайного отбора экспертов из правительственной базы данных. Ответственность экспертов включает гражданскую и уголовную ответственность. Попытка подкупа преследуется по закону. Требования заказчика к поставщикам рассматриваются как необоснованные, если условия различаются для разных поставщиков, если указывается конкретная продукция поставщика, организационно-правовая форма поставщика и в некоторых других случаях. В целом новые правила не изменяют принципов и методов

конкурентных закупок, а направлены на повышение ответственности всех участников процесса.

В Японии государственные закупки представляют собой двухуровневую систему, хотя Япония — не федеративное государство. На верхнем уровне закупки выполняются центральным правительством и отраслевыми министерствами, на втором уровне закупки совершают префектуры и муниципалитеты. Основные правила были приняты в законе о бюджетных расчетах и государственных счетах, которые являются одними из самых старых действующих документов: утверждены императорскими указами в 1947 г. В 2000 г. принят закон о проведении торгов и заключении контрактов на общественные работы, посвященный строительному сектору экономики.

Информация о предстоящих закупках публикуется на официальном сайте¹⁸, в том числе для иностранных подрядчиков. Закупки верхнего уровня проходят под контролем совета по организации государственных закупок и управления по организации государственных закупок. При закупках возможны три варианта: открытые (70 % случаев), выборочные и закупки у единственного поставщика [21]. Во внешней торговле Япония придерживается в основном правил ВТО.

Из рассмотренных документов видно, что во многих зарубежных странах проведению конкурсов в сфере строительства уделяется большое внимание. В США, Германии, Франции и других странах торги в строительстве выделены в отдельную ветвь законодательства в виде отдельных законов или разделов общего законодательства. Это связано с технологическими, организационными и экономическими особенностями строительных объектов. В России для закупок любых товаров, услуг, строительных и иных работ применяется практически одно и то же законодательство. В отечественной практике закупки различают лишь по источнику финансирования.

В правовых нормах государственного уровня разных стран рассматриваются принципиальные вопросы размещения заказов и контрактации, а правила документооборота описываются лишь в общем виде. Электронный документооборот является очевидным и предполагающимся способом коммуникаций, при этом сама по себе цифровизация не служит предметом нормативного регулирования. Однако в России огромный по объему закон о контрактной системе¹⁹ с подзаконными актами посвящен по большей части процедурным вопросам, в первую очередь, электронному документообороту.

¹⁸ Japanese Government Procurement. URL: <https://www.jetro.go.jp/en/database/procurement/>

¹⁹ О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд : Федеральный закон от 05.04.2013 № 44-ФЗ.

¹⁷ Covington. China's New Regulations on Government Procurement Seek to Promote Greater Transparency. 2015.

В большинстве стран, как и в России, применяется ограниченный набор тендерных процедур: открытый, закрытый конкурс с приглашением участников, закупка у единственного поставщика и др. Для крупных заказов используется такой малоизвестный у нас метод, как конкурентные переговоры. Аукцион и редукцион (на понижение) для строительных заказов почти не применяются.

Законодательство Новой Зеландии, признанное самым эффективным в мире, стимулирует развитие подрядных организаций, их квалификации и технической оснащенности. Сравнивая это с отечественным опытом, приходится с сожалением отметить, что в законодательстве России интересы подрядных организаций часто остаются вне поля зрения не только закупочного законодательства, но и профильного министерства. Ни в одной из рассмотренных стран не существует понятия начальной (максимальной) цены контракта, использование которой в России приводит к многочисленным срывам тендерных процедур.

симальной) цены контракта, использование которой в России приводит к многочисленным срывам тендерных процедур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторы считают, что в российском профессиональном сообществе необходимо обсудить возможность специального законодательства для капитального строительства, которое учитывало бы основные особенности отрасли. При этом Градостроительный кодекс должен быть нацелен на иные задачи. В тендерном законодательстве целесообразно отразить возможность конкурсных переговоров, больше уделять внимания вопросам обеспечения качества и долговечности объектов, соблюдению договорных сроков. Этому будет посвящена отдельная статья.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Martin L., Benson L.* Relationship quality in construction projects: A subcontractor perspective of principal contractor relationships // *International Journal of Project Management*. 2021. Vol. 39. Issue 6. Pp. 633–645. DOI: 10.1016/j.ijproman.2021.05.002
2. *Cheaitou A., Larbi R., Housani B.A.* Decision making framework for tender evaluation and contractor selection in public organizations with risk considerations // *Socio-Economic Planning Sciences*. 2019. Vol. 68. P. 100620. DOI: 10.1016/j.seps.2018.02.007
3. *Loosemore M., Alkilani S.Z., Murphy R.* The institutional drivers of social procurement implementation in Australian construction projects // *International Journal of Project Management*. 2021. Vol. 39. Issue 7. Pp. 750–761. DOI: 10.1016/j.ijproman.2021.07.002
4. *Gallejo J., Rivero G., Martinez J.* Preventing rather than punishing: An early warning model of malfeasance in public procurement // *International Journal of Forecasting*. 2020. Vol. 37. Issue 1. Pp. 360–377. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2020.06.006
5. *Khoso A.R., Yusof A.M., Chen Z-S., Skibniewski M.J., Chin K.S., Khahro S.H. et al.* Comprehensive analysis of state-of-the-art contractor selection models in construction environment-A critical review and future call // *Socio-Economic Planning Sciences*. 2021. Vol. 79. P. 101137. DOI: 10.1016/j.seps.2021.101137
6. *Maréchal F., Morand P.H.* Are social and environmental clauses a tool for favoritism? Analysis of French public procurement contracts // *European Journal of Political Economy*. 2021. P. 102140. DOI: 10.1016/j.ejpoleco.2021.102140
7. *Li J., Kassem M.* Applications of distributed ledger technology (DLT) and Blockchain-enabled smart contracts in construction // *Automation in Construction*. 2021. Vol. 132. Issue 1. P. 103955. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103955
8. *McNamara A., Sepasgozar S.M.* Intelligent contract adoption in the construction industry: Concept development // *Automation in Construction*. 2021. Vol. 122. P. 103452. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103452
9. *Yevu S.K., Yu A.T.W., Darko A.* Digitalization of construction supply chain and procurement in the built environment: Emerging technologies and opportunities for sustainable processes // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 322. Issue 6. P. 129093. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129093
10. *Owusu E.K., Chan A.P.C., Effah E.A.* Toward a cleaner project procurement: Evaluation of construction projects' vulnerability to corruption in developing countries // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 216. Pp. 394–407. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.01.124
11. *García Rodríguez M.J., Rodríguez Montequín V., Ortega-Fernández F., Ortega F., Balsera J.V.* Spanish Public Procurement: legislation, open data source and extracting valuable information of procurement announcements // *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 164. Pp. 441–448. DOI: 10.1016/j.procs.2019.12.204
12. *Юзвович Л.И., Исакова Н.Ю., Истомина Ю.В. и др.* Система государственных закупок: теоретический и практический аспекты: монография. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. 231 с.
13. *Кауфова Ф.Б.* Проблемы контрактной системы государственных закупок и пути совершенствования законодательства // *Молодой ученый*. 2017. № 50 (184). С. 296–298.
14. *Смотрицкая И.И.* Контрактная система закупок в контексте российских реформ // *Вестник Института экономики Российской академии наук*. 2019. № 6. С. 9–25. DOI: 10.24411/2073-6487-2019-10067

15. *Береженцева И.О., Березин А.О.* Международный опыт проведения подрядных торгов в строительстве // Молодой ученый. 2018. № 48 (234). С. 370–372.

16. *Парфильева Е.Н., Нуруллина А.И.* Анализ контрактной системы в сфере государственных закупок за рубежом // Вопросы экономики и управления. 2018. № 1 (12). С. 14–17.

17. *Семенова Ф.З., Борлакова М.Б., Боташева Л.С.* Зарубежный опыт организации государственных закупок // Фундаментальные исследования. 2016. № 6–2. С. 465–469.

18. *Жигит А.А., Хамидуллина К.И., Лашкин С.А.* Комплексная оценка проведения электронного аукциона при проведении государственных

закупок услуг (на примере строительного подряда) // Russian economic bulletin. 2020. Т. 3. № 1. С. 68–74.

19. *Гинзбург А.В., Шилова Л.А., Адамцевич А.О.* Системотехника строительства. М. : НИУ МГСУ, 2019. 45 с.

20. *Камалян А.М.* Правовое регулирование государственных закупок в Европейском Союзе : автореф. дисс...канд. юр. наук. М., 2018.

21. *Федорова И.Ю., Пупия Ю.С.* Организация системы государственных закупок в Японии и возможности опыта их применения в России // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2021. Т. 12. № 1. С. 34–55. DOI: 10.18184/2079-4665.2021.12.1.34-55

Поступила в редакцию 25 января 2022 г.

Принята в доработанном виде 28 февраля 2022 г.

Одобрена для публикации 28 февраля 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Елена Александровна Гусакова** — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 306511, Scopus: 57192369875, ResearcherID: V-8343-2017, ORCID: 0000-0001-5441-2711; GusakovaEA@mgsu.ru;

Александр Сергеевич Павлов — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства объектов тепловой и атомной энергетики; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; заместитель руководителя Департамента экспертизы и оптимизации проектных решений; **Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций (ВНИИАЭС)**; 109507, г. Москва, ул. Ферганская, д. 25; РИНЦ ID: 79850, Scopus: 57212719485, ResearcherID: AАН-4585-2021, ORCID: 0000-0001-6638-5554; PavlovAS@mgsu.ru.

Вклад авторов:

Гусакова Е.А. — сбор и анализ документов США, Евросоюза, Великобритании.

Павлов А.С. — сбор и анализ документов Германии, Франции, Китая, Японии, Новой Зеландии.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Martin L., Benson L. Relationship quality in construction projects: A subcontractor perspective of principal contractor relationships. *International Journal of Project Management*. 2021; 39(6):633-645. DOI: 10.1016/j.ijproman.2021.05.002

2. Cheaitou A., Larbi R., Housani B.A. Decision making framework for tender evaluation and contractor selection in public organizations with risk considerations. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2019; 68:100620. DOI: 10.1016/j.seps.2018.02.007

3. Loosemore M., Alkilani S.Z., Murphy R. The institutional drivers of social procurement implementation in Australian construction projects. *International Journal of Project Management*. 2021; 39(7):750-761. DOI: 10.1016/j.ijproman.2021.07.002

4. Gallego J., Rivero G., Martínez J. Preventing rather than punishing: An early warning model of malfeasance in public procurement. *International Journal*

of Forecasting. 2020; 37(1):360-377. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2020.06.006

5. Khoso A.R., Yusof A.M., Chen Z-S., Skibniewski M.J., Chin K.S., Khahro S.H. et al. Comprehensive analysis of state-of-the-art contractor selection models in construction environment-A critical review and future call. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2021; 79:101137. DOI: 10.1016/j.seps.2021.101137

6. Maréchal F., Morand P.H. Are social and environmental clauses a tool for favoritism? Analysis of French public procurement contracts. *European Journal of Political Economy*. 2021; 102140. DOI: 10.1016/j.ejpoleco.2021.102140

7. Li J., Kassem M. Applications of distributed ledger technology (DLT) and Blockchain-enabled smart contracts in construction. *Automation in Construction*. 2021; 132(1):103955. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103955

8. McNamara A., Sepasgozar S.M. Intelligent contract adoption in the construction industry: Concept development. *Automation in Construction*. 2021; 122:103452. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103452
9. Yevu S.K., Yu A.T.W., Darko A. Digitalization of construction supply chain and procurement in the built environment: Emerging technologies and opportunities for sustainable processes. *Journal of Cleaner Production*. 2021; 322(6):129093. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129093
10. Owusu E.K., Chan A.P.C., Effah E.A. Toward a cleaner project procurement: Evaluation of construction projects' vulnerability to corruption in developing countries. *Journal of Cleaner Production*. 2019; 216:394-407. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.01.124
11. García Rodríguez M.J., Rodríguez Montequín V., Ortega-Fernández F., Ortega F., Balsera J.V. Spanish Public Procurement: legislation, open data source and extracting valuable information of procurement announcements. *Procedia Computer Science*. 2019; 164:441-448. DOI: 10.1016/j.procs.2019.12.204
12. Yuzvovich L.I., Isakova N.Yu., Istomina Yu.V. et al. *Public procurement system: theoretical and practical aspects : monograph*. Ekaterinburg, Ural Federal University, 2019; 231. (rus.).
13. Kaufova F.B. Problems of the contract system of public procurement and ways to improve legislation. *Young Scientist*. 2017; 50(184):296-298. (rus.).
14. Smotrinskaya I.I. Contract procurement system in the context of Russian reforms. *Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*. 2019; 6:9-25. DOI: 10.24411/2073-6487-2019-10067 (rus.).
15. Beryozhentseva I.O., Berezin A.O. International experience of contract bidding in construction. *Young Scientist*. 2018; 48(234):370-372. (rus.).
16. Parfileva E.N., Nurullina A.I. Analysis of the contract system in the field of public procurement abroad. *Issues of Economics and Management*. 2018; 1(12):14-17. (rus.).
17. Semenova F.Z., Borlakova M.B., Botasheva L.S. Foreign experience of state procurement. *Fundamental Research*. 2016; 6-2:465-469. (rus.).
18. Zhigit A.A., Khamidullina K.I., Lashkin S.A. Comprehensive evaluation of electronic auction at the purchase of public services purchases (on the example of construction contract). *Russian Economic Bulletin*. 2020; 3(1):68-74. (rus.).
19. Ginzburg A.V., Shilova L.A., Adamtsevich A.O. *System engineering of construction*. Moscow, NRU MGSU, 2019; 45. (rus).
20. Kamaljan A.M. *Legal regulation of Public Procurement in European Union*. Moscow, 2018. (rus.).
21. Fedorova I.Yu., Pipiya Y.S. Organization of the public procurement system in Japan and the possibilities of experience of their application in Russia. *MIR (Modernization. Innovation. Research)*. 2021; 12(1):34-55. DOI: 10.18184/2079-4665.2021.12.1.34-55 (rus.).

Received January 25, 2022.

Adopted in revised form on February 28, 2022.

Approved for publication on February 28, 2022.

B I O N O T E S : **Elena A. Gusakova** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Information Systems, Technology and Automation in Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 306511, Scopus: 57192369875, ResearcherID: V-8343-2017, ORCID: 0000-0001-5441-2711; GusakovaEA@mgsu.ru;

Alexander S. Pavlov — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Construction of Thermal and Nuclear Power Facilities; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Deputy Head of the Department of Expertise and Optimization of Design Solutions; **All-Russian Research Institute for Nuclear Power Plants Operation (VNIIAES)**; 25 Ferganskaya st., Moscow, 109507, Russian Federation; ID RISC: 79850, Scopus: 57212719485, ResearcherID: AAH-4585-2021, ORCID: 0000-0001-6638-5554; PavlovAS@mgsu.ru.

Contributions of the authors:

Gusakova E.A. — gathering and analysis of documents of USA, EU, UK.

Pavlov A.S. — gathering and analysis of documents of Germany, France, China, Japan, New Zealand.

The authors declare that they have no conflicts of interest.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Текст статьи набирается в файлах в формате .docx.

СТРУКТУРА НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья должна состоять из следующих структурных элементов: заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, основной текст, сведения об авторах, список источников.

Заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, список источников указываются последовательно на русском и английском языках.

Заголовок к статье должен соответствовать основному содержанию статьи. Заголовок статьи должен кратко (не более 10 слов) и точно отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. Он должен быть информативным и отражать уникальность научного творчества автора.

Список авторов в краткой форме отражает всех авторов статьи и указывается в следующем формате:

Имя Отчество Фамилия¹, Имя Отчество Фамилия²

¹ Место работы первого автора; город, страна

² Место работы второго автора; город, страна

**если авторов не более четырех, то необходимо указывать полные ФИО, от пяти авторов и более – допустимо использовать инициал*

АННОТАЦИЯ

Основной принцип создания аннотации — информативность. Объем аннотации — от 200 до 250 слов.

Структура и содержание аннотации должны соответствовать структуре и содержанию основного текста статьи.

Аннотация к статье должна представлять краткую характеристику научной статьи. Задача аннотации — дать возможность читателю установить ее основное содержание, определить ее релевантность и решить, следует ли обращаться к полному тексту статьи.

Четкое структурирование аннотации позволяет не упустить основные элементы статьи. Структура аннотации аналогична структуре научной статьи и содержит следующие основные разделы:

- **Введение** — содержит описание предмета, целей и задач исследования, актуальность.
- **Материалы и методы** (или методология проведения работы) — описание использованных в исследовании информационных материалов, научных методов или методики проведения исследования
- **Результаты** — приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Предпочтение отдается новым результатам и выводам, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.
- **Выводы** — четкое изложение выводов, которые могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, описанными в статье.
- **Ключевые слова** — перечисляются через запятую, количество — от 7 до 10 слов.

Благодарности. Краткое выражение благодарности персонам и/или организациям, которые оказали помощь в выполнении исследования или высказывали критические замечания в адрес вашей статьи. Также в разделе указывается источники финансирования исследования от организаций и фондов организациям и фондам, т.е. за счет каких грантов, контрактов, стипендий удалось провести исследование. Раздел приводится при необходимости.

Аннотация не должна содержать:

- избыточных вводных фраз («Автор статьи рассматривает...», «В данной статье...» и т.д.);
- абстрактного указания на время написания статьи («В настоящее время...», «На данный момент...», «На сегодняшний день...» и т.д.);
- общего описания;
- цитат, таблиц, диаграмм, аббревиатур;
- ссылок на источники литературы;
- информацию, которой нет в статье.

Англоязычная аннотация пишется по тем же правилам. Отметим, что английская аннотация не обязательно должна быть точным переводом русской.

Следует обращать особое внимание на корректность употребления терминов. Избегайте употребления терминов, являющихся прямой калькой русскоязычных. Необходимо соблюдать единство терминологии в пределах аннотации.

Ключевые слова – прообраз статьи в поисковых системах, те точки, по которым читатель может найти вашу статью и определить предметную область текста. Чтобы определить основные ключевые слова для статьи, рекомендуется представить, по каким поисковым запросам читатели могут искать вашу статью. Как правило, ключевые слова также могут включать основную терминологию.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ

Основной текст научной статьи, представляемой в журнал, должен быть оформлен в соответствии со стандартом IMRaD и включать следующие разделы:

- Введение;
- Материалы и методы;
- Результаты исследования;
- Заключение и обсуждение.

РИСУНКИ И ТАБЛИЦЫ

Рисунки и таблицы следует вставлять в текст статьи сразу после того абзаца, в котором рисунок впервые упоминается. Рисунки и таблицы должны быть оригинальными (либо с указанием источника), хорошего качества (не менее 300 dpi). Оригиналы рисунков предоставляются в файлах формата .jpg, .tiff (название файла должны соответствовать порядковому номеру рисунка в тексте) Размер шрифта должен соответствовать размеру шрифта основного текста статьи. Линии обязательно не тоньше 0,25 пунктов.

Заголовки таблиц и рисунков выравниваются по левому краю. Заголовок таблицы располагается над ней, начинаясь с сокращения «Табл.» и порядкового номера таблицы, подпись к рисунку располагается под ним, начинаясь с сокращения «Рис.» и порядкового номера. Рисунки и таблицы позиционируются по центру страницы.

Подрисуночные подписи и названия таблиц размещаются на русском и английском языках, каждый на новой строке с выравниванием по левому краю.

Образец:

Рис. 1. Пример рисунка в статье

Figure 1. Example of article image

Табл. 1. Пример таблицы в статье

Table 1. Example of table for article

ФОРМУЛЫ

Формулы должны быть набраны в редакторе формул MathType версии 6 или выше.

Цифры, греческие, готические и кириллические буквы набираются прямым шрифтом; латинские буквы для обозначения различных физических величин (A , F , b и т.п.) — курсивом; наименования тригонометрических функций, сокращенные наименования математических понятий на латинице (max, div, log и т.п.) — прямым; векторы (\mathbf{a} , \mathbf{b} и т.п.) — жирным курсивом; символы химических элементов на латинице (Cl, Mg) — прямым.

Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Список источников составляется в порядке упоминания в тексте. Порядковый номер источника в тексте (ссылка) заключается в квадратные скобки. Текст статьи должен содержать ссылки на все источники из списка литературы. При наличии ссылки должны содержать идентификаторы DOI.

Список источников на русском языке оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Список источников на английском языке (reference) оформляется в соответствии с международным стандартом цитирования Vancouver — последовательный численный стиль: ссылки нумеруются по ходу

их цитирования в тексте, таблицах и рисунках. ФИО авторов, название статьи на английском языке, наименование журнала, год выпуска; Том (выпуск): страницы.

Список источников и сведения об авторах указываются последовательно на русском и английском языках.

Нормативные документы (постановления, распоряжения, уставы), ГОСТы, справочная литература не указываются в списках источников, оформляются в виде сносок.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В **Сведениях об авторах (Bionotes)** представляется основная информация об авторском коллективе в следующем формате.

Имя, Отчество, Фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации; адрес электронной почты; ORCID, ResearcherID и др. (при наличии).

Сведения об авторах представляются на русском и английском языках.

Сведения об авторах на английском языке даются в полном виде, без сокращений слов. Приводятся официально установленные англоязычные названия организаций и их подразделений. Опускаются элементы, характеризующие правовую форму учреждения (организации) в названиях вузов.

Автор должен придерживаться единообразного написания фамилии, имени, отчества во всех статьях. Эта информация для корректной индексации должна быть указана в других статьях, профилях автора в Международных базах данных Scopus/WoS и т.д.

СВЕДЕНИЯ О ВКЛАДЕ КАЖДОГО АВТОРА

Сведениям предшествуют слова «**Вклад авторов:**» (**Contribution of the authors:**). После фамилии и инициалов автора в краткой форме описывается его личный вклад в написание статьи (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т.д.).

Сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализацию такого конфликта в случае его наличия указывают после всех данных о вкладе каждого автора.

КАК ПОДГОТОВИТЬ ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ, ЧТОБЫ ЕЕ ПРИНЯЛИ К ПУБЛИКАЦИИ?

ЗАГОЛОВОК

Заголовок статьи должен **кратко и точно** (не более 10 слов) отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. В него необходимо как вложить информативность, так и отразить привлекательность, уникальность научного творчества автора.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ

Основной текст научной статьи, представляемой в журнал для рассмотрения вопроса о ее публикации, должен быть оформлен в соответствии со стандартом IMRaD и включать следующие разделы: введение (Introduction), материалы и методы (Materials and methods), результаты исследования (Result), заключение и обсуждение (Conclusion and discussion).

Введение (Introduction). Отражает то, какой проблеме посвящено исследование. Осуществляется постановка научной проблемы, ее актуальность, связь с важнейшими задачами, которые необходимо решить, значение для развития определенной отрасли науки или практической деятельности.

Во введении должна содержаться информация, которая позволит читателю понять и оценить результаты исследования, представленного в статье без дополнительного обращения к другим литературным источникам. Во введении автор осуществляет обзор проблемной области (литературный обзор), в рамках которой осуществлено исследование, обозначает проблемы, не решенные в предыдущих исследованиях, которые призвана решить данная статья. Кроме этого, в нем выражается главная идея публикации, которая существенно отличается от современных представлений о проблеме, дополняет или углубляет уже известные подходы к ней; обращается внимание на введение в научное обращение новых фактов, выводов, рекомендаций, закономерностей. Цель статьи вытекает из постановки научной проблемы.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ЛИТЕРАТУРНОГО ОБЗОРА

В Список источников рекомендуется включать от 20 до 40 источников, не учитывая ссылки на нормативные документы, интернет-ресурсы (сайты сети Интернет, не являющиеся периодическими изданиями), отчеты, а также источники, отсутствующие в каталогах ведущих российских библиотек-депозитариев (ГПНТБ, РНБ, РГБ), архивах и т.п. Подобные источники приводят в сносках внизу страницы сверх минимально рекомендуемого порога.

Не рекомендуется ссылаться на интернет-ресурсы, не содержащие научную информацию, учебники, учебные и методические пособия. В числе источников должно быть не менее 10 иностранных источников (для статей на английском языке не менее трех российских). Не менее шести из иностранных и не менее шести из российских источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования: Web of Science/Scopus или Ядро РИНЦ. Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее восьми статей из научных журналов не старше 10 лет, из них четыре — не старше трех лет. В списке источников должно быть не более 10 % работ, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Материалы и методы (Materials and methods). Отражает то, как изучалась проблема. Описываются процесс организации эксперимента, примененные методики, обосновывается их выбор. Детализация описания должна быть настолько подробной, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести их, пользуясь лишь текстом статьи.

Результаты (Result). В разделе представляется систематизированный авторский аналитический и статистический материал. Результаты проведенного исследования необходимо описывать достаточно полно, чтобы читатель мог проследить его этапы и оценить обоснованность сделанных автором выводов. Это основной раздел, цель его — при помощи анализа, обобщения и разъяснения данных доказать рабочую гипотезу (гипотезы). Результаты при необходимости подтверждаются иллюстрациями (таблицами, графиками, рисунками), которые представляют исходный материал или доказательства в свернутом виде. Важно, чтобы проиллюстрированная информация не дублировала уже приведенную в тексте. Представленные в статье результаты сопоставляются с предыдущими работами в этой области как автора, так и других исследователей.

Заключение (Conclusion and discussion) содержит краткую формулировку результатов исследования. В нем в сжатом виде повторяются главные мысли основной части работы. Повторы излагаемого материала лучше оформлять новыми фразами, отличающимися от высказанных в основной части статьи. В этом разделе необходимо сопоставить полученные результаты с обозначенной в начале работы целью. В заключении суммируются результаты осмысления темы, делаются выводы, обобщения и рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В заключительную часть статьи желательно включить попытки прогноза развития рассмотренных вопросов.

КАК ОФОРМИТЬ СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Список источников на русском языке оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Образец:

Литература

1. Голицын Г.С. Парниковый эффект и изменения климата // Природа. 1990. № 7. С. 17–24.

2. Шелушин Ю.А., Макаров К.Н. Проблемы и перспективы гидравлического моделирования волновых процессов в искаженных масштабах // Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. Вып. 2. Ст. 4. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.2.4

Список источников на английском языке (reference) оформляется в соответствии с международным стандартом цитирования Vancouver — последовательный численный стиль: ссылки нумеруются по ходу их цитирования в тексте, таблицах и рисунках. ФИО авторов, название статьи на английском языке, наименование журнала, год выпуска; Том (выпуск): страницы.

Образец:

Reference

Названия публикаций, изданий и других элементов библиографического описания для не англоязычных материалов должны приводиться в официальном варианте перевода (т.е. том, который размещен в самом издании; при наличии).

Примеры оформления распространенных типов библиографических ссылок:

Книги до трех авторов: Фамилия (Фамилии) Инициалы авторов. Заголовок. Город издания, Издатель*, Год издания; Общее количество страниц.

Образец:

Todinov M. *Reliability and risk models*. 2nd ed. Wiley, 2015; 80.

Книги более трех авторов: Фамилии Инициалы авторов (первых шести) et al. Заголовок. Город издания, Издатель, Год издания; Общее количество страниц.

Статья в печатном журнале: Фамилия (Фамилии) Инициалы авторов. Заголовок. Название журнала. Год публикации; Том* (Выпуск): Страницы. DOI (при наличии — обязательно).

Образец:

Pupyrev E. Integrated solutions in storm sewer system. *Vestnik MGSU*. 2018; 13(5):651-659. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.5.651-659

Статья в электронном журнале: Фамилия (Фамилии) Инициалы авторов. Заголовок. Название журнала. Дата публикации [дата цитирования]; Том* (Выпуск): Страницы. URL.

Образец:

Chertes K., Tupitsyna O., Martynenko E., Pystin V. Disposal of solid waste into soil-like remediation and building. *Stroitel'stvo nauka i obrazovanie* [Internet]. 2017 [cited 24 July 2018]; 7(3):3-3. URL: http://www.nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2017/03/03_03_2017.pdf DOI: 10.22227/2305-5502.2017.3.3

Статья, размещенная на интернет-сайте: Фамилия (Фамилии) Инициалы автора (авторов)*. Название [Internet]. Город, Издатель*, Год издания [Дата последнего обновления*; дата цитирования]. URL

Образец: *How to make a robot* [Internet]. *Design Academy*. 2018 [cited 24 July 2018]. URL: <https://academy.autodesk.com/how-make-robot>

* указываются при наличии.

Все даты указываются в формате ДД-Месяц (текстом)-Год

Для формирования англоязычного списка источников редакция рекомендует использовать ресурс Citethisforme.com.

ШАБЛОН СТАТЬИ

Тип Статьи

Тип статьи — научная статья, обзорная статья, редакционная статья, дискуссионная статья, персоналии, редакторская заметка, рецензия на книгу, рецензия на статью, спектакль и т. п., краткое сообщение.

УДК 11111

DOI 11111

ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ

должен кратко (не более 10 слов) и точно отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. В него необходимо как вложить информативность, так и отразить привлекательность, уникальность научного творчества автора.

Имя Отчество Фамилия¹, Имя Отчество Фамилия²...

¹ Место работы первого автора; город, страна

² Место работы первого автора; город, страна

*если авторов не более четырех, то необходимо указывать полные ФИО, от пяти авторов и более – допустимо использовать инициалы

Аннотация (должна содержать от 200 до 250 слов), в которую входит информация под заголовками: **Введение, Материалы и методы, Результаты, Выводы.**

Введение: приводятся характеристики работы — если не ясно из названия статьи, то кратко формулируются предмет исследования, его актуальность и научная новизна, а также практическая значимость (общественная и научная), цель и задачи исследования. Лаконичное указание проблем, на решение которых направлено исследование, или научная гипотеза исследования.

Материалы и методы: описание применяемых информационных материалов и научных методов.

Результаты: развернутое представление результатов исследования. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории, а также данным, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.

Выводы: аргументированное обоснование ценности полученных результатов, рекомендации по их использованию и внедрению. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, новыми гипотезами, описанными в статье.

Приведенные части аннотации следует выделять соответствующими подзаголовками и излагать в данных разделах релевантную информацию. См. **рекомендации по составлению аннотации.**

Ключевые слова: 7–10 ключевых слов.

Ключевые слова являются поисковым образом научной статьи. Во всех библиографических базах данных возможен поиск статей по ключевым словам. В связи с этим они должны отражать основную терминологию научного исследования и не повторять название статьи.

Благодарности (если нужно).

В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам.

Автор, ответственный за переписку: Имя Отчество Фамилия, адрес электронной почты для связи.

ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

И.О. Фамилия¹, И.О. Фамилия²... на английском языке

¹ Место работы первого автора; город, страна – на английском языке

² Место работы первого автора; город, страна – на английском языке

*если авторов не более четырех, то необходимо указывать полные ФИО, от пяти авторов и более – допустимо использовать инициалы

Abstract (200–250 слов)

Introduction: text, text, text.

Materials and methods: text, text, text.

Results: text, text, text.

Conclusions: text, text, text.

Key words: text, text, text.

Acknowledgements: text, text, text.

Corresponding author: Имя Отчество Фамилия, адрес электронной почты для связи – на английском языке

ВВЕДЕНИЕ

Задача введения — обзор современного состояния рассматриваемой в статье проблематики, обозначение научной проблемы и ее актуальности.

Введение должно включать обзор современных оригинальных российских и зарубежных научных достижений в рассматриваемой предметной области, исследований и результатов, на которых базируется представляемая работа (Литературный обзор). Литературный обзор должен подчеркивать актуальность и новизну рассматриваемых в исследовании вопросов.

Во введении должна содержаться информация, которая позволит читателю понять и оценить результаты исследования, представленного в статье.

Литературный обзор. Список источников включает от 20 до 50 источников, не учитывая ссылки на нормативные документы (ГОСТ, СНИП, СП), интернет-ресурсы (сайты сети Интернет, не являющиеся периодическими изданиями), отчеты, а также источники, отсутствующие в каталогах ведущих российских библиотек-депозитариев (ГПНТБ, РНБ, РГБ), архивах и т.п. Подобные источники следует указывать в списке литературы сверх минимально установленного порога. Не рекомендуется ссылаться на интернет-ресурсы, не содержащие научную информацию, учебники, учебные и методические пособия.

Уровень публикации определяют полнота и представительность источников. Не менее шести из иностранных и не менее шести из российских источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования:

- Web of Science <http://webofknowledge.com>
- Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
- ядро Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) <http://elibrary.ru>

Англоязычных источников включают в список не менее 50 %, за последние три года — не менее половины. Рекомендуется использовать оригинальные источники не старше 10 лет.

Ссылки на источники приводятся в статье в квадратных скобках. Источники нумеруются по порядку упоминания в статье.

Завершают введение к статье постановка и описание цели и задачи приведенной работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Раздел описывает методику проведения исследования. Обоснование выбора темы (названия) статьи. Сведения о методе, приведенные в разделе, должны быть достаточными для воспроизведения его квалифицированным исследователем.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В этой части статьи должен быть представлен систематизированный авторский аналитический и статистический материал. Результаты проведенного исследования необходимо описывать так, чтобы читатель мог проследить его этапы и оценить обоснованность сделанных автором выводов. Это основной раздел, цель которого — при помощи анализа, обобщения и разъяснения данных доказать рабочую гипотезу (гипотезы). Результаты при необходимости подтверждаются иллюстрациями (таблицами, графиками, рисунками), которые представляют исходный материал или доказательства в свернутом виде. Важно, чтобы проиллюстрированная информация не дублировала уже приведенную в тексте. Представленные в статье результаты следует сопоставить с предыдущими работами в этой области как автора, так и других исследователей. Такое сравнение дополнительно раскроет новизну проведенной работы, придаст ей объективность. Результаты исследования должны быть изложены кратко, но при этом содержать достаточно информации для оценки сделанных выводов. Не принято в данном разделе приводить ссылки на литературные источники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Заключение содержит краткую формулировку результатов исследования (выводы). В этом разделе показывают, как полученные результаты обеспечивают выполнение поставленной цели исследования, указывают, что поставленные задачи авторами были решены. Приводятся обобщения и даются рекомендации,

вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В рамках обсуждения желательно раскрыть перспективы развития темы.

В данном разделе не приводят ссылки на источники.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ (REFERENCES)

Оформляется на русском и английском языках.

Расположение источников в списке – в строгом соответствии с порядком упоминания в тексте статьи.

Библиографическое описание документов (в том числе и электронных) на русском языке оформляется в соответствии с требованиями ГОСТа Р 7.0.5–2008.

Библиографическое описание документов (в том числе и электронных) на английском языке оформляется в стиле «Ванкувер».

Русскоязычные источники необходимо приводить в официальном варианте перевода (т.е. том, который размещен в самом издании; при наличии). Название города издания приводится полностью, в английском написании. Названия журналов и издательств приводятся либо официальные английские (если есть), либо транслитерированные. В конце описания источника в скобках указывается язык источника (rus.).

Для изданий следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет. Интересующийся читатель должен иметь возможность найти указанный литературный источник в максимально сжатые сроки.

Если у статьи (издания) есть DOI, его обязательно указывают в библиографическом описании источника.

Важно правильно оформить ссылку на источник.

Пример оформления:

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самарин О.Д. О расчете охлаждения наружных стен в аварийных режимах теплоснабжения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 46–50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (дата обращения: 04.12.18).
2. Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Математическая модель теплопереноса в пористом теле // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8. № 3. С. 35–53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3

REFERENCES

1. Samarin O.D. On calculation of external walls coling in emergency condition of heat supply. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Construction*. 2007; 2:46-50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (Accessed 19th June 2015). (rus.).
2. Musorina T.A., Petrichenko M.R. Mathematical model of heat and mass transfer in porous body. *Construction: science and education*. 2018; 8(3):35-53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3 (rus.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Оформляются на русском и английском языках.

Об авторах: **Имя, отчество, фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации; адрес электронной почты;

Имя, отчество, фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение, **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор, почтовый адрес организации, адрес электронной почты.

Сведения об авторах на английском языке приводятся в полном виде, без сокращений слов. Приводятся официально установленные англоязычные названия организаций и их подразделений. Опускаются элементы, характеризующие правовую форму учреждения (организации) в названиях вузов.

Автор должен придерживаться единообразного написания фамилии, имени, отчества во всех статьях. Эта информация для корректной индексации должна быть указана в других статьях, профилях автора в Международных базах данных Scopus / WoS и т.д.

В и о н о т е с: **Имя, отчество, фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты;

Имя, отчество, фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты.

ВНИМАНИЕ! Все названия, подписи и структурные элементы рисунков, графиков, схем, таблиц оформляются на русском и английском языках.

Вклад авторов:

Фамилия И.О. - описание личного вклада в написание статьи в краткой форме (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т. д.).

Пример:

Артемяева С. С. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы. Митрохин В. В. – участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

После «Информации об авторах» приводят сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализацию такого конфликта в случае его наличия. Если в статье приводят данные о вкладе каждого автора, то сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов указывают после них.

Пример:

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736X29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7 7 1 6 1 0 3 3 9 1

(ИНН получателя платежа)

0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0

(номер счета получателя платежа)

в ГУ Банка России по ЦФО

БИК 0 0 4 5 2 5 9 8 8

(наименование банка получателя платежа)

КБК

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0

ОКТМО

4 5 3 6 5 0 0 0

Вестник МГСУ - 573.34 руб. х 12 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь,
июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2022 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика _____

Адрес

плательщика _____

Сумма

платы

за

Сумма платежа 6 880 руб. 00 коп. услуги _____ руб. _____ коп.

Итого _____ руб. _____ коп. « _____ » _____ 20 _____ г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика _____

Извещение

Кассир

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736X29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7 7 1 6 1 0 3 3 9 1

(ИНН получателя платежа)

0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0

(номер счета получателя платежа)

в ГУ Банка России по ЦФО

БИК 0 0 4 5 2 5 9 8 8

(наименование банка получателя платежа)

КБК

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0

ОКТМО

4 5 3 6 5 0 0 0

Вестник МГСУ - 573.34 руб. х 12 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь,
июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2022 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика _____

Адрес

плательщика _____

Сумма

платы

за

Сумма платежа 6 880 руб. 00 коп. услуги _____ руб. _____ коп.

Итого _____ руб. _____ коп. « _____ » _____ 20 _____ г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика _____

Квитанция

Кассир

Бланк для оплаты полугодовой подписки через редакцию (оплата в банке).

ВНИМАНИЕ!

Если вы оплатили подписку по форме ПД-4 в банке, то для своевременной отправки вам номеров журнала безотлагательно пришлите копию платежного документа и сообщите ваш адрес с почтовым индексом, Ф.И.О. на e-mail: podpiska@mgsu.ru.

Подписчики — работники НИУ МГСУ могут заполнить бланк на свое имя и обратиться в отдел распространения и развития Издательства МИСИ — МГСУ для оформления подписки.

Телефон: (495)287-49-14 (вн. 14-23), podpiska@mgsu.ru.

Подробную информацию о вариантах подписки на «Вестник МГСУ» для физических и юридических лиц смотрите на сайте журнала <http://vestnikmgsu.ru/>

