

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал
по строительству и архитектуре

Том 18 Выпуск 8/2023
Vol. Issue

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction
and Architecture

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

**Том 18. Выпуск 8
2023**

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

Сквозной номер 177

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction and Architecture

**Volume 18. Issue 8
2023**

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

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

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

Тематические рубрики

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

Наименование органа, зарегистрировавшего издание:	Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-63119 от 18 сентября 2015 г.
ISSN	1997-0935 (Print) 2304-6600 (Online)
Периодичность:	12 раз в год
Учредители:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26; Общество с ограниченной ответственностью «Издательство АСВ», 129337, Москва, Ярославское ш., д. 19, корп. 1.
Выходит при научно-информационной поддержке:	Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), Международной общественной организации содействия строительному образованию — АСВ.
Издатель:	ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». Издательство МИСИ – МГСУ 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26. Сайт: www.mgsu.ru E-mail: journals@mgsu.ru
Типография:	Типография Издательства МИСИ – МГСУ 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26 корп. 8. Тел.: (499) 183-91-44, 183-67-92, 183-91-90
Сайт журнала:	http://vestnikmgsu.ru
E-mail:	journals@mgsu.ru
Тел.:	(495) 287-49-14, доб. 24-76
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	28.08.2023.
Подписан в свет	31.08.2023.
Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 18,48. Тираж 100 экз. (1-й завод 50 экз.). Заказ № 250	

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

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

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

Редакционная коллегия

Павел Алексеевич Акимов, д-р техн. наук, проф., академик Российской академии архитектуры и строительных наук, ректор, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Армен Юрьевич Казарян, д-р искусствоведения, академик Российской академии архитектуры и строительных наук, и.о. директора института архитектуры и градостроительства, НИУ МГСУ, Москва, Россия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакция журнала

Выпускающий редактор: Анна Александровна Дядичева

Редактор: Татьяна Владимировна Бердникова

Корректор: Оксана Валерьевна Ермихина

Дизайн и верстка: Алина Юрьевна Байкова

Перевод на английский язык: Ольга Валерьевна Юденкова

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

Редакционный совет

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

VESTNIK ^{MGSU}

Monthly Journal on Construction and Architecture

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

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

Thematic sections

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

ISSN	1997-0935 (Print) 2304-6600 (Online)
Publication Frequency:	Monthly
Founders:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337; Limited Liability Company "ASV Publishing House", 19, building 1 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337.
The Journal enjoys the academic and informational support provided by	The Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), International public organization of assistance to construction education (ASV)
Publisher:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337 Website: www.mgsu.ru E-mail: journals@mgsu.ru
Printing House:	Printing house of the Publishing house MISI – MGSU building 8, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337 tel. (499) 183-91-44, 183-67-92, 183-91-90.
Website journal:	http://vestnikmgsu.ru
E-mail:	vestnikmgsu@mgsu.ru , journals@mgsu.ru
Subscription:	Citizens of the CIS and other foreign countries can subscribe by catalog agency "Informnauka", magazine subscription index 18077.
Signed for printing:	28.08.2023

Distributed by subscription

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

Editor-in-Chief

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

Deputy Editor-in-Chief

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

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

Editorial Board

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

Piotr Banaszuk, Bialystok University of Technology, Republic of Poland

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Armen Yu. Kazaryan, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

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

Dmitry V. Kozlov, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

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

Roode Liias, Tallin University of Technology, Estonia

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

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

Miroslav Premrov, University of Maribor, Republic of Slovenia

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

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

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

Josef Vichan, University of Zilina, Slovak Republic

Joost Walraven, Delft University of Technology, Netherlands

Zbigniew Wojcicki, Wrocław University of Technology, Republic of Poland

Editorial team of issues

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

Editor: *Tat'yana V. Berdnikova* **Layout:** *Alina Y. Baykova*

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

Chairman of the Editorial Board

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

Editorial Council

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

С.В. Привезенцева, А.Ф. Иванов

Анализ применения новых технологий и материалов на скоростной магистрали М-12 1179

Н.Г. Юшкова

Специфика учета взаимодействия производственных территорий поселений с региональными системами расселения на муниципальном уровне территориального планирования 1186

Д.А. Хрусталева

**Changes and the principle of assessment of readiness for changes in the life cycle of buildings
(Изменения и принцип оценки готовности к изменениям в жизненном цикле зданий) 1201**

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

А.В. Турков, С.И. Полешко

Исследование прогибов и частот собственных колебаний круглых изотропных пластин переменной толщины по закону квадратной параболы с утолщением на опоре 1212

Ф.С. Замалиев, А.Г. Тамразян

Оценка несущей способности сталебетонных балок на основе гнутых профилей 1220

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

А.В. Козлов

Результаты межлабораторных сличительных испытаний геосинтетического материала 1230

М.Ш. Саламанова, М.Р. Нахаев

Влияние минеральных порошков на свойства вяжущих систем. 1241

Е.Н. Неверов, И.А. Короткий, П.С. Коротких, А.Н. Расцепкин, С.А. Самар

Изучение процесса деформации различных видов теплоизоляционных материалов при воздействии низких температур и влаги 1251

ГИДРАВЛИКА. ГЕОТЕХНИКА. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

О.А. Бурцева, М.С. Александрова

Water flow parameters on the symmetry axis and extreme current line (Параметры водного потока на оси симметрии и крайней линии тока) 1262

Г.В. Орехов, Чан Мань Кьонг

Фильтрационная прочность грунта плотины в области трубчатого водосброса круглой формы. 1272

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Д.З. Искандаров, С.М. Бороздина

Метод прогнозирования эффективности реализации инвестиционно-строительных проектов в особой экономической зоне на различных этапах жизненного цикла 1283

В.И. Теличенко, А.А. Лапидус, М.Ю. Слесарев

Анализ и синтез образов экологически ориентированных инновационных технологий строительного производства. 1298

И.В. Каракозова, И.М. Лисицын, К.В. Болдышев

Создание электронной базы нормативных наблюдений в условиях цифровизации в строительстве 1306

Требования к оформлению научной статьи 1318

CONTENTS

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION AND REFURBISHMENT

Svetlana V. Privezentseva, Alexandr F. Ivanov

Application of new technologies and materials on the M-12 motorway 1179

Natalia G. Yushkova

**Interaction of production areas of settlements with regional settlement systems at the municipal level
of territorial planning 1186**

Dmitry A. Khrustalev

Changes and the principle of assessment of readiness for changes in the life cycle of buildings 1201

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

Andrey V. Turkov, Sergey I. Poleshko

**Investigation of deflections and natural vibration frequencies of circular isotropic plates of variable thickness
according to the law of square parabola with thickening to the support. 1212**

Farit S. Zamaliev, Ashot G. Tamrazyan

To the evaluation of the carrying capacity of steel concrete beams on the basis of bent profiles 1220

CONSTRUCTION MATERIAL ENGINEERING

Andrey V. Kozlov

Results of interlaboratory comparison tests of geosynthetic material 1230

Madina Sh. Salamanova, Magomed R. Nakhaev

Influence of mineral powders on the properties of binding systems 1241

Evgeniy N. Neverov, Igor A. Korotkiy, Pavel S. Korotkih, Alexander N. Rasshchepkin, Sail A. Samar

**Study of the deformation process of various types of thermal insulation materials under the influence of low
temperatures and moisture 1251**

HYDRAULICS. GEOTECHNIQUE. HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION

Olga A. Burtseva, Maria S. Aleksandrova

Water flow parameters on the symmetry axis and extreme current line 1262

Genrikh V. Orekhov, Tran Manh Cuong

Seepage strength of the dam soil in the area of a round-shaped culvert spillway 1272

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION. ECONOMICS AND MANAGEMENT IN CONSTRUCTION

Daler Z. Iskandarov, Svetlana M. Borozdina

**Method of forecasting the efficiency of investment and construction projects realization in a special
economic zone at different stages of life cycle 1283**

Valeriy I. Telichenko, Azariy A. Lapidus, Mikhail Yu. Slesarev

**Analysis and synthesis of images of environmentally oriented innovative technologies of construction
production. 1298**

Irina V. Karakozova, Ilya M. Lisitsyn, Konstantin V. Boldyshev

**Electronic database of regulatory observations as a tool of public administration in the context of digitalization
in construction 1306**

Requirements for research paper design 1318

ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ТЕМАТИКА ЖУРНАЛА. РЕДАКЦИОННАЯ ПОЛИТИКА

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

Тематический охват соответствует научным специальностям:

- 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки);
- 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки);
- 2.1.4. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки);
- 2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки);
- 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология (технические науки);
- 2.1.7. Технология и организация строительства (технические науки);
- 2.1.9. Строительная механика (технические науки);
- 2.1.10. Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки);
- 2.1.11. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура);
- 2.1.11. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (технические науки);
- 2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура);
- 2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (технические науки);
- 2.1.13. Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (технические науки);
- 2.1.13. Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (архитектура);
- 2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки);
- 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки);
- 5.2.6. Менеджмент (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 625.8

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1179-1185

Анализ применения новых технологий и материалов на скоростной магистрали М-12

Светлана Вячеславовна Привезенцева, Александр Федорович Иванов

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Проанализирована значимость строящейся скоростной магистрали М-12 в качестве международного транспортного маршрута. Отмечена целесообразность реализации проекта исходя из интересов России.

Материалы и методы. Рассмотрены конструктивные решения проезжей части на трассе М-12. Приведены материалы для каждого конструктивного и функционального слоя дорожной одежды; краткий обзор опыта применения асфальтобетона, запроектированного по методу Суперпейв за рубежом и в России. Поставлен вопрос о неэффективном расположении дорог по составу и сложных по технологии проектирования слоев из нового асфальтобетона внутри, а не в покрытии конструкции дорожной одежды на скоростной магистрали М-12.

Результаты. Показаны преимущества и недостатки технологии Суперпейв. Проанализированы особенности подбора битумного вяжущего. Представлены организационные, конструктивные, материальные и технологические мероприятия для реализации проектного гранулометрического состава минеральной части в технологии асфальтобетона по методу Суперпейв. Приведена аргументированная критика применения нового вида битумного вяжущего и гранулометрического состава асфальтобетона по методу Суперпейв.

Выводы. Отмечена необходимость дальнейшего изучения и развития технологии асфальтобетона по методу Суперпейв и материалов с добавками сверхабсорбирующего полимера для их эффективного применения. Обозначены вопросы обеспечения удобоукладываемости материалов с полимерными добавками и регулирования их применения стандартами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: скоростная магистраль М-12, дорожная одежда, асфальтобетон по методу Суперпейв, сверхабсорбирующий полимер, битумное вяжущее, гранулометрический состав, эффективность

Благодарности. Авторы выражают благодарность анонимным рецензентам, кафедре градостроительства и НИУ МГСУ.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Привезенцева С.В., Иванов А.Ф. Анализ применения новых технологий и материалов на скоростной магистрали М-12 // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 8. С. 1179–1185. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1179-1185

Автор, ответственный за переписку: Светлана Вячеславовна Привезенцева, PrivezentsevaSV@mgsu.ru.

Application of new technologies and materials on the M-12 motorway

Svetlana V. Privezentseva, Alexandr F. Ivanov

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

ABSTRACT

Introduction. The significance of the M-12 motorway under construction as an international transport route is analyzed. The expediency of the project implementation based on the interests of Russia is noted.

Materials and methods. Structural solutions for the roadway on the M-12 motorway were considered. Materials for each structural and functional layer of the roadway are given. A brief review of the experience of using asphalt concrete designed using the Superpave method abroad and in Russia is provided. The question of inefficient arrangement of expensive by composition and complicated by design technology layers of new asphalt concrete inside rather than in the cover of the pavement structure on the M-12 motorway is raised.

Results. Advantages and disadvantages of the Superpave technology are shown. The peculiarities of bituminous binder selection are analyzed. Organizational, constructive, material and technological measures for the implementation of the design granulometric composition of the mineral part in the technology of asphalt concrete by the Superpave method are presented. The reasoned criticism of application of a new type of bituminous binder and granulometric composition of asphalt concrete according to the Superpave method is given.

Conclusions. The necessity of further study and development of the technology of asphalt concrete by the Superpave method and materials with superabsorbent polymer additives for their effective application is noted. The issues of ensuring workability of materials with polymer additives and regulation of their application by standards are outlined.

KEYWORDS: M-12 motorway, road pavement, Superpave asphalt concrete, superabsorbent polymer, bituminous binder, granulometric composition, efficiency

Acknowledgment. The authors would like to thank the anonymous reviewers, the Department of Urban Planning and Moscow State University of Civil Engineering.

FOR CITATION: Privezentseva S.V., Ivanov A.F. Application of new technologies and materials on the M-12 motorway. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1179-1185. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1179-1185 (rus.).

Corresponding author: Svetlana V. Privezentseva, PrivezentsevaSV@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Уровень развития транспортной инфраструктуры определяет эффективность решения задач устойчивого экономического роста, повышения конкурентоспособности отечественной продукции, укрепления национальной безопасности государства.

В настоящее время в России наблюдается тенденция роста несоответствия между состоянием и развитием дорожной инфраструктуры и спросом на автомобильные перевозки. По оценкам специалистов, сегодня более половины сети федеральных дорог страны не соответствуют нормативным требованиям и эксплуатируются на пределе пропускной возможности либо в режиме перегрузки. По этим причинам суммарные дополнительные издержки достигают в России 1,5–2 % ВВП в год.

Повышение долговечности асфальтобетонных покрытий в различных условиях эксплуатации — одна из сложнейших проблем дорожного строительства. Поэтому исследования в направлении дальнейшего совершенствования асфальтобетона и разработка новых методов проектирования проводятся во многих странах.

Актуальным вопросом при строительстве дорог является назначение конструкции дорожной одежды необходимой прочности и долговечности с применением современных материалов и технологий.

Цель настоящей работы — анализ целесообразности и эффективности применения новых материалов и технологий на скоростной магистрали М-12.

Строящаяся скоростная магистраль М-12 Москва – Нижний Новгород – Казань, ввод которой в эксплуатацию запланирован на 2024 г., станет частью международного транспортного маршрута Европа – Западный Китай. Ее протяженность составит 810 км.

Дорожная одежда, разработанная акционерным обществом «Институт “Стройпроект”», содержит следующие конструктивные слои:

- дополнительный слой основания из укрепленного грунта земляного полотна комплексным вяжущим на основе извести на глубину 30 см;
- нижний слой основания из оптимальной смеси из шлаков С1 с максимальной крупностью зерен до 70 мм по ГОСТ 3344–83 толщиной 22 см;

- средний слой основания из оптимальной смеси из активных шлаков С4 с максимальной крупностью зерен до 40 мм по ГОСТ 3344–83 толщиной 18 см;

- верхний слой основания из горячей асфальтобетонной смеси SP-32Э по ГОСТ Р 58401.1–2019 на битумном вяжущем PG 64-28 по ГОСТ Р 58400.1–2019 толщиной 10 см;

- нижний слой покрытия из горячей асфальтобетонной смеси SP-22Э по ГОСТ Р 58401.1–2019 на битумном вяжущем PG 64-28 по ГОСТ Р 58400.1–2019 толщиной 8 см;

- верхний слой покрытия из горячего щебеночно-мастичного асфальтобетона SMA-16 по ГОСТ Р 58401.2–2019 на битумном вяжущем PG70-28 по ГОСТ Р 58400.1–2019 толщиной 5 см.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования — дорожная одежда и материалы для покрытий и верхних слоев оснований.

Для решения поставленной цели применили метод анализа и обобщения данных специальной литературы.

Учитывая большую протяженность и стратегическое значение строящейся скоростной магистрали М-12, рассмотрим конструкцию наиболее важного и дорогого элемента дороги — дорожной одежды, определяющей в значительной степени долговременную провозную способность дороги.

Подробнее остановимся на слоях дорожной одежды, устроенных по технологии Суперпейв. Суперпейв (Superpave или Superior Performance Pavements) является принципиально отличным от традиционных способов методом проектирования составов асфальтобетонных смесей для дорожных покрытий с повышенными транспортно-эксплуатационными характеристиками¹ [1].

Данная технология была разработана в США по результатам многолетних исследований, направленных на увеличение продолжительности службы асфальтобетонных покрытий. Акцент делается на более полный учет климатических условий эксплуатации автомобильной дороги, а также перспективной интенсивности и состава движения. Метод Суперпейв позволяет получить покрытие, устой-

¹ Горячие асфальтовые смеси, материалы, подбор составов смесей и строительство автомобильных дорог в северной Америке. Передовой зарубежный опыт. Национальный центр по асфальтовой технологии (NAPA), третье издание, «Росавтодор», 2009. 411 с.

чивое к образованию колеи, низкотемпературной сетки трещин и последующему усталостному разрушению [2, 3].

Система Суперпейв более 20 лет применяется с положительными результатами в США и многих странах Европы [4]. С недавнего времени данная технология начала внедряться и в России [5, 6]. В нашей стране к технологии Суперпейв среди специалистов по технологии строительных материалов отношение неоднозначное, есть сторонники и противники [6, 7].

Представляется конструктивным и целесообразным рассмотреть доводы специалистов, относящихся с осторожностью к новой технологии.

По приведенной выше конструкции дорожной одежды на скоростной автомобильной дороге М-12 Москва – Нижний Новгород – Казань возникает вопрос: почему два слоя асфальтобетона по методу Суперпейв расположены внутри дорожной одежды. С учетом улучшенных свойств, заявляемых сторонниками новой технологии, логичнее было бы разместить эти слои на поверхности проезжей части. Колея пластичности (температурная) образуется, прежде всего и главным образом, на покрытии, а не в основании. Кроме этого, предложенное АО «Институт “Стройпроект”» конструктивное решение не согласуется с установившимся принципом конструирования дорожной одежды: с учетом затухающего характера эпюры напряжений по глубине следует применять в нижележащих слоях материалы менее дефицитные, прочные и менее дорогие, чем в слоях над ними.

По нашему мнению, на скоростной магистрали М-12 для уменьшения разрушений дорожной одежды целесообразно было бы включить в ее конструкцию материалы, содержащие сверхабсорбирующие полимеры (SAP). SAP — новый, перспективный класс химических добавок, открывающий иные возможности в плане влияния на свойства материалов на основе цемента в свежем, твердеющем и отвержденном состояниях. За последние два десятилетия была проделана большая исследовательская работа, чтобы подготовить почву для внедрения этого действительно многоцелевого агента в практику строительства. В частности, три технических комитета RILEM: 196-ICC, 225-SAP и 260-RSC внесли значительный вклад в соответствующий прогресс, координируя и объединяя усилия международных экспертов в этой области. Основным итогом работы RILEM TC 225-SAP стал отчет о возможностях и перспективах практического применения SAP, опубликованный в 2012 г. Этот всеобъемлющий документ охватывал все темы, относящиеся к применению SAP в качестве добавки к бетону. С тех пор достигнут дальнейший важный прогресс в понимании механизмов работы SAP в бетоне и влиянии добавления SAP на различные свойства бетона. Настоящая статья представляет обновленную инфор-

мацию. SAP рассматривается с акцентом применения в дорожном строительстве.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ публикаций по технологии Суперпейв показал, что для ее реализации необходим точный подбор битумного вяжущего по шкале PG Grade. Методика назначения марки битумного вяжущего основана на установлении его реологических свойств в конкретном температурном диапазоне, определяемом условиями эксплуатации. Так называемые фундаментальные характеристики битумного вяжущего (модуль сдвига, функция релаксации, динамическая вязкость и др.) регулируются специальными добавками и определяются на специальном оборудовании [7]. Подбор битумного вяжущего по шкале PG Grade, по мнению авторов новой технологии, позволяет максимально продлить срок службы дорог.

Следует отметить, что такие битумы дефицитны и существенно дороже обычных. Кроме того, сложно проконтролировать подрядчиков, какой битум был фактически использован.

Остановимся на критериях подбора и испытания каменного материала.

Большинство характеристик щебня, определяемых по методу Суперпейв, аналогичны ГОСТ 8269.0–97 и ГОСТ 32703–2014. Это износостойкость; морозостойкость; содержание дробленых зерен, пылеватых и глинистых частиц, лещадных и игольчатых зерен. При испытаниях по методу Суперпейв стоит обратить внимание на использование более узких фракций granulометрического состава каменного материала и применение сит с квадратными ячейками. Разработчики Суперпейв считают, что это дает возможность достигнуть более плотной упаковки минеральных материалов в составе асфальтобетонной смеси, который сможет одинаково эффективно сопротивляться пластическим деформациям и усталостным разрушениям [8–11].

Однако большинство предприятий по производству щебня в настоящее время не располагают комплектом сит и грохотов для производства нужных фракций каменных материалов для новой технологии асфальтобетона. После переоснащения и переналадки производственного процесса стоимость товарного камня неизбежно возрастет, без существенного прироста качества.

Теперь перейдем на другое предприятие по производству полуфабриката — асфальтобетонный завод (АБЗ). Привезенные с дробильно-сортировочного предприятия узкие фракции каменного материала складываются, а затем перемешиваются в сушильном барабане. Для разделения смеси каменных материалов на фракции необходимых размеров снова нужны сита с определенным размером ячейки, которые отсутствуют сейчас на большинстве АБЗ. К тому же предварительное объемное,

достаточно грубое дозирование узких фракций каменного материала при подаче в сушильный барабан нередко приводит к переполнению одного или нескольких расходных бункеров и недонаполнению других после «горячей» разрыхотки минеральной смеси. В такой ситуации точное соблюдение проектной рецептуры по гранулометрическому составу весьма проблематично.

Остановимся подробнее на обосновании применения SAP. В области химии SAP многочисленные исследования, связанные со строительными материалами на основе цемента, были опубликованы после анализа соответствующей главы отчета о состоянии дел в 2012 г. [12], включая четыре обзора [13, 14].

Как и любая химическая добавка к бетону, SAP имеет ограниченный срок хранения. Требуется строго соблюдать рекомендации производителей и поставщиков по условиям хранения, например темное, сухое помещение, комнатная температура и срок годности. Химические изменения могут со временем повлиять на сорбционные свойства и, следовательно, на качество бетонов, модифицированных таким материалом SAP [12, 13]. В одной научной статье сообщается о сроке годности не менее восьми лет для некоторых сшитых SAP на акрилатной основе, используемых в вяжущих материалах [14].

Несколько исследований связали отдельные синтезы SAP и фундаментальные химические анализы с ориентированными на эксплуатационные характеристики тестами полимерами, включенными в материалы на основе цемента. Многочисленные публикации раскрывают полимерно-химические детали, которые позволяют продвинуть отношения структура/эффективность и молекулярные механизмы работы различных полимерных композиций [15].

Такие подходы и глубина предоставленной информации дают возможность понять химические и физические механизмы работы SAP и их влияние на макроскопические свойства строительных материалов. К сожалению, в значительном количестве публикаций по SAP в строительных материалах не содержится достаточной информации о химическом составе используемых полимеров.

Во многих трудах фундаментальная химическая природа используемого SAP определяется как сшитая сеть на основе акрилата, причем акриловая кислота и акриламид являются наиболее важными мономерами вдоль основных цепей [15].

Обычные сшиватели включают бифункциональные мономеры, сополимеризующиеся вдоль первичных цепей [16]. Для эффективного самовосстановления растрескавшегося бетона наиболее подходящими оказались pH-чувствительные SAP, которые меньше набухают при щелочном pH, но больше набухают при более низком pH, когда вода проникает в трещины [17]. Бактерии также могут быть включены в структуру SAP [18].

Процедура синтеза определяет форму частиц. В результате обратной суспензионной полимеризации образуются сферические частицы [15, 17]. Узкий гранулометрический состав регулируется параметрами синтеза, эмульгаторами и сопутствующим просеиванием. С другой стороны, полимеризация в массе раствора дает гель-блок. Продукт синтеза затем измельчают или измельчают и просеивают для получения наиболее подходящего гранулометрического состава. Таким образом ограничивают содержание неправильных частиц SAP [13, 15].

Этапы постобработки, такие как поверхностное сшивание, могут придавать особые свойства частицам SAP. Например, свойства набухания могут быть точно настроены для оптимизации производительности в определенных условиях ионной или механической нагрузки [19–22].

Краткий обзор инструментальной аналитики для характеристики SAP был предоставлен тремя членами TC 260-RSC. Помимо аналитических методов, ориентированных на химию, здесь собраны многочисленные экспериментальные подходы для количественной оценки характерного поведения SAP при абсорбции и десорбции при воздействии типичных солевых растворов [12]. Два из методов, оцененных в работе [13], оказались наиболее эффективными при тестировании сорбционных характеристик SAP перед применением в материалах на основе цемента. По наименованию так называемые «метод чайных пакетиков» и «метод фильтрации» специально рекомендованы ТС. Круговой тест, организованный и оцененный ТС, подтвердил хорошее функционирование и статистическую значимость этих двух процедур [12].

Добавление SAP также оказывает влияние на свойства бетона, делая его более долговечным и износостойким [12, 14]. Поскольку многие свойства, такие как самогерметизация и самовосстановление с помощью SAP, изучены недавно, все еще необходимы дополнительные исследования для более подробного изучения и получения информации о свойствах в долгосрочной перспективе. Дополнительные усилия по моделированию необходимы для повышения применимости SAP для приложений, связанных с долговечностью, для оптимизации как смеси, так и добавления SAP. Эти свойства следует изучить, одновременно исследуя изменение микроструктуры и, возможно, связанное с этим снижение механических характеристик. Полученные результаты и информация могут быть использованы для моделирования срока службы бетонных конструкций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выполненный анализ очевидных преимуществ и недостатков асфальтобетонной технологии Суперпейв показал необходимость ее дальнейшего изучения и развития для эффективного применения.

Поставлен вопрос о неэффективном расположении дорогих по составу и сложных по технологии проектирования слоев из нового асфальтобетона внутри, а не в покрытии конструкции дорожной одежды на скоростной магистрали М-12.

Несмотря на большой объем исследований и объединение экспертов из многих стран, до сих пор остаются открытыми вопросы по применению SAP в строительной отрасли. Примеры использования SAP в полевых условиях показывают многообещающие результаты, но на данном этапе их все еще

мало. Решение задач, связанных с характеристиками бетонов с SAP, имеет первостепенное значение для содействия более широкому применению этой перспективной добавки на практике. Одним из таких вопросов является то, как бороться со снижением удобства укладки без существенного увеличения содержания водоредуцирующих добавок или содержания воды в бетоне [20]. Другая проблема — отсутствие стандартов, регулирующих применение SAP производителями бетона.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Радовский Б.С.* Современное состояние разработки американского метода проектирования асфальтобетонных смесей Суперпейв // Дорожная техника. 2008. С. 12–22.
2. *Радовский Б.С.* Концепция вечных дорожных одежд. Дорожная техника. Каталог-справочник: Дорожная техника. 2011. С. 120–132.
3. *Крестина М.О., Орехов С.А., Дергунов С.А., Сатюков А.Б.* Современный подход к проектированию составов асфальтобетонов // Молодой ученый. 2017. № 21–1 (155). С. 144–145. EDN YUHSYV.
4. *Василенко С.Д.* Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу суперпейв : технические рекомендации (извлечение). СПб. : ЗАО «Кодекс», 2012. 25 с.
5. *Беляев Н.Н.* Американская система Superpave: проверка на российских дорогах // Автомобильные дороги. 2014. № 6. С. 62–64.
6. *Берилин А., Никольский В., Красоткина И.* Опыт применения стандартов Superpave // Автомобильные дороги. 2016. № 3. С. 73–80.
7. *Кирюхин Г.Н.* Плюсы и минусы системы проектирования асфальтобетона «суперпейв» // Мир дорог. 2014. № 74. С. 51–54.
8. *Радовский Б.С.* Суперпейв: требования к каменному материалу // Автомобильные дороги. 2014. № 7. С. 56–67.
9. *Радовский Б.С.* «Суперпейв»: проектирование состава смеси // Автомобильные дороги. 2014. № 9. С. 46–59.
10. *Мухаметшина Р.М., Кошкин И.А.* Современные технологии строительства автомобильных дорог // Техника и технология транспорта. 2021. № 1 (20). С. 16. EDN UCSTAN.
11. *Траутвайн А.И., Акимов А.Е., Денисов В.П., Лашин М.В.* Особенности метода объемного проектирования асфальтобетона по технологии superpave // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 3. С. 8–14. DOI: 10.34031/article_5ca1f62f6b9a09.67742444. EDN VVZUTB.
12. *Mechtcherine V., Reinhardt H.W.* Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction // State-of-the-Art Report Prepared by Technical Committee 225-SAP. 2012. DOI: 10.1007/978-94-007-2733-5
13. *Schröfl C., Snoeck D., Mechtcherine V.* A review of characterisation methods for superabsorbent polymer (SAP) samples to be used in cement-based construction materials: report of the RILEM TC 260-RSC // Materials and Structures. 2017. Vol. 50. Issue 4. DOI: 10.1617/s11527-017-1060-4
14. *Mechtcherine V., Snoeck D., Schröfl C., De Belie N., Klemm A.J., Ichimiya K., et al.* Testing superabsorbent polymer (SAP) sorption properties prior to implementation in concrete: results of a RILEM Round-Robin Test // Materials and Structures. 2018. Vol. 51. Issue 1. DOI: 10.1617/s11527-018-1149-4
15. *Vandenaute M., Snoeck D., Vanderleyden E., De Belie N., Van Vlierberghe S., Dubruel P.* Stability of Pluronic® F127 bismethacrylate hydrogels: reality or utopia? // Polymer Degradation and Stability. 2017. Vol. 146. Pp. 201–211. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2017.10.003
16. *Snoeck D., De Belie N.* Autogenous healing in strain-hardening cementitious materials with and without superabsorbent polymers: an 8-year study // Frontiers in Materials. 2019. Vol. 6. DOI: 10.3389/fmats.2019.00048
17. *Cunha T.A., Agostinho L.B., Silva E.F.* Application of nano-silica particles to improve the mechanical properties of high performance concrete containing superabsorbent polymers // 3rd International Conference on the Application of Superabsorbent Polymers (SAP) and Other New Admixtures Towards Smart Concrete. 2020. Pp. 211–221 DOI: 10.1007/978-3-030-33342-3_23
18. *Kong X.-M., Zhang Z.-L., Lu Z.-C.* Effect of pre-soaked superabsorbent polymer on shrinkage of high-strength concrete // Materials and Structures. 2015. Vol. 48. Issue 9. Pp. 2741–2758. DOI: 10.1617/s11527-014-0351-2

19. Mignon A., Vermeulen J., Snoeck D., Dubruel P., Van Vlierberghe S., De Belie N. Mechanical and self-healing properties of cementitious materials with pH-responsive semi-synthetic superabsorbent polymers // *Materials and Structures*. 2017. Vol. 50. Issue 6. DOI: 10.1617/s11527-017-1109-4

20. Wang J., Mignon A., Snoeck D., Wiktor V., Van Vlierberghe S., Boon N., De Belie N. Application of modified-alginate encapsulated carbonate producing bacteria in concrete: a promising strategy for crack self-healing // *Frontiers in Microbiology*. 2015. Vol. 6. DOI: 10.3389/fmicb.2015.01088

21. Pelto J., Leivo M., Gruyaert E., Debbaut B., Snoeck D., De Belie N. Application of encapsulated superabsorbent polymers in cementitious materials for stimulated autogenous healing // *Smart Materials and Structures*. 2017. Vol. 26. Issue 10. P. 105043. DOI: 10.1088/1361-665X/aa8497

22. Wyrzykowski M., Igarashi S.-I., Lura P., Mechtcherine V. Recommendation of RILEM TC 260-RSC: using superabsorbent polymers (SAP) to mitigate autogenous shrinkage // *Materials and Structures*. 2018. Vol. 51. Issue 5. DOI: 10.1617/s11527-018-1241-9

Поступила в редакцию 29 ноября 2023 г.

Принята в доработанном виде 30 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 7 июля 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Светлана Вячеславовна Привезенцева — старший преподаватель кафедры градостроительства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0002-4407-1789; PrivezentsevaSV@mgsu.ru;

Александр Федорович Иванов — кандидат технических наук, доцент кафедры градостроительства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; IvanovAF@mgsu.ru.

Вклад авторов:

Привезенцева С.В. — постановка актуальной проблемы конструирования экономичной дорожной одежды с применением современных материалов, обзор литературы, написание исходного текста.

Иванов А.Ф. — анализ обоснованности применения новых материалов в конкретных конструктивных слоях дорожной одежды на автомагистрали М-12, редактирование и доработка текста, выводы. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Radovskiy B.S. The current state of development of the American method of designing asphalt concrete mixtures Superpave. *Road Machinery*. 2008; 12-22. (rus.).

2. Radovsky B.S. *The concept of eternal pavement*. Road equipment. Catalog-reference book: Road equipment. 2011; 120-132. (rus.).

3. Kretinina M.O., Orekhov S.A., Dergunov S.A., Satyukov A.B. Modern approach to the design of asphalt concrete compositions. *Young Scientist*. 2017; 21-1(155):144-145. EDN YUHSYV. (rus.).

4. Vasilenko S.D. *The design of the composition of asphalt mixes in the US by the method of superpave : technical recommendations (extract)*. St. Petersburg, ZAO "Code", 2012; 25. (rus.).

5. Belyaew N.N. American Superpave system: checking on Russian roads. *Automobile Roads*. 2014; 6:62-64. (rus.).

6. Berilin A., Nikolskiy V., Krasotkina I. Experience using Superpave standards. *Automobile Roads*. 2016; 3:73-80. (rus.).

7. Kiryukhin G.N. Pros and cons of the superpave asphalt concrete design system. *World of Roads*. 2014; 74:51-54. (rus.).

8. Radovsky B.S. Superpave: requirements for stone material. *Automobile Roads*. 2014; 7:56-67. (rus.).

9. Radovskiy B.S. "Superpejv": proektirovanie sostava smesi. *Automobile Roads*. 2014; 9(994)46-59. (rus.).

10. Mukhametshina R.M., Koshkin I.A. Modern technologies of road construction. *Technique and Technology of Transport*. 2021; 1(20):16. EDN UCSTAN. (rus.).

11. Trautvain A., Akimov A., Denisov V., Lashin M. Features of the method of surrounded design of asphalt-concrete on superpave technology. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2019; 3:8-14. DOI: 10.34031/article_5ca1f62f6b9a09.67742444. EDN VVZUTB. (rus.).

12. Mechtcherine V., Reinhardt H.W. Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction. *State-of-the-Art Report Prepared by Technical Committee 225-SAP*. 2012. DOI: 10.1007/978-94-007-2733-5

13. Schröfl C., Snoeck D., Mechtcherine V. A review of characterisation methods for superabsorbent polymer (SAP) samples to be used in cement-based con-

struction materials: report of the RILEM TC 260-RSC. *Materials and Structures*. 2017; 50(4). DOI: 10.1617/s11527-017-1060-4

14. Mechtcherine V., Snoeck D., Schröfl C., De Belie N., Klemm A.J., Ichimiya K. et al. Testing superabsorbent polymer (SAP) sorption properties prior to implementation in concrete: results of a RILEM Round-Robin Test. *Materials and Structures*. 2018; 51(1). DOI: 10.1617/s11527-018-1149-4

15. Vandenhaute M., Snoeck D., Vanderleyden E., De Belie N., Van Vlierberghe S., Dubruel P. Stability of Pluronic® F127 bismethacrylate hydrogels: reality or utopia? *Polymer Degradation and Stability*. 2017; 146:201-211. DOI: 10.1016/j.polyimdegradstab.2017.10.003

16. Snoeck D., De Belie N. Autogenous healing in strain-hardening cementitious materials with and without superabsorbent polymers: an 8-year study. *Frontiers in Materials*. 2019; 6. DOI: 10.3389/fmats.2019.00048

17. Cunha T.A., Agostinho L.B., Silva E.F. Application of nano-silica particles to improve the mechanical properties of high performance concrete containing superabsorbent polymers. *3rd International Conference on the Application of Superabsorbent Polymers (SAP) and Other New Admixtures Towards Smart Concrete*. 2020; 211-221 DOI: 10.1007/978-3-030-33342-3_23

18. Kong X.-M., Zhang Z.-L., Lu Z.-C. Effect of pre-soaked superabsorbent polymer on shrinkage of high-strength concrete. *Materials and Structures*. 2015; 48(9):2741-2758. DOI: 10.1617/s11527-014-0351-2

19. Mignon A., Vermeulen J., Snoeck D., Dubruel P., Van Vlierberghe S., De Belie N. Mechanical and self-healing properties of cementitious materials with pH-responsive semi-synthetic superabsorbent polymers. *Materials and Structures*. 2017; 50(6). DOI: 10.1617/s11527-017-1109-4

20. Wang J., Mignon A., Snoeck D., Wiktor V., Van Vlierberghe S., Boon N., De Belie N. Application of modified-alginate encapsulated carbonate producing bacteria in concrete: a promising strategy for crack self-healing. *Frontiers in Microbiology*. 2015; 6. DOI: 10.3389/fmicb.2015.01088

21. Pelto J., Leivo M., Gruyaert E., Debbaut B., Snoeck D., De Belie N. Application of encapsulated superabsorbent polymers in cementitious materials for stimulated autogenous healing. *Smart Materials and Structures*. 2017; 26(10):105043. DOI: 10.1088/1361-665X/aa8497

22. Wyrzykowski M., Igarashi S.-I., Lura P., Mechtcherine V. Recommendation of RILEM TC 260-RSC: using superabsorbent polymers (SAP) to mitigate autogenous shrinkage. *Materials and Structures*. 2018; 51(5). DOI: 10.1617/s11527-018-1241-9

Received November 29, 2023.

Adopted in revised form on May 30, 2023.

Approved for publication on July 7, 2023.

BIONOTES: **Svetlana V. Privezentseva** — Senior Lecturer of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4407-1789; PrivezentsevaSV@mgsu.ru;

Aleksandr F. Ivanov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; IvanovAF@mgsu.ru.

Contribution of the authors:

Svetlana V. Privezentseva — statement of the actual problem of designing economical road clothing using modern materials, literature review, writing the source text.

Aleksandr F. Ivanov — analysis of the validity of the use of new materials in specific structural layers of pavement on the M-12 motorway, editing and revision of the text, conclusions.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Специфика учета взаимодействия производственных территорий поселений с региональными системами расселения на муниципальном уровне территориального планирования

Наталья Геннадиевна Юшкова^{1,2}

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

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В современном градостроительстве Российской Федерации планирование развития муниципальных образований в сложившихся системах расселения не стало приоритетной стратегической задачей. До настоящего времени в документации территориального планирования поселенческого уровня значимость этих компонентов систем расселения недооценивается, зависимость динамики отмечаемых изменений от функционального профиля территорий не выявляется, а в оценках объектов преобладает констатирующий, а не прогнозный подход. Однако планирование территории данного уровня способно снижать остроту противоречий между краткосрочными и долгосрочными перспективами развития регионов, а также обеспечивать точность привязки формируемых объектов разной величины с нетиповыми функциональными программами.

Материалы и методы. Методологической основой послужили общенаучные методы (системный подход, системно-структурный анализ, компаративный анализ, теоретическое моделирование) и специальные междисциплинарные (методы графоаналитического моделирования); научная литература; данные с официальных сайтов органов статистики и муниципальных образований; открытые картографические источники; градостроительные документы территориального планирования.

Результаты. Впервые осуществлена систематизация планировочных ситуаций поселений, которые отличаются от известных примеров реализацией проектов освоения территорий особых экономических зон производственного типа федерального и регионального значения. Разработана и применена система оценки территорий поселений, основанная на принципах структурирования, и выделения планировочных единиц муниципальных систем расселения, — населенных пунктов. Оценка позволяет определять в совокупности качественные и количественные характеристики поселений, что повышает обоснованность размещения и последующего формирования объектов.

Выводы. Приращение научных результатов заключается в совершенствовании методологии территориального планирования муниципального уровня. Оно обусловлено усилением семантического значения поселенческого звена в региональных системах расселения. В связи с этим корректируются используемые технологии разработки градостроительных решений и расширяется спектр решаемых ими задач. Они обоснованы результатами применения системы оценки поселенческих структур с выделением планировочных элементов низового звена расселения, что обеспечивает сравнимость и типологическое ранжирование исследуемых планировочных ситуаций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: градостроительные решения, планирование, региональные системы расселения, поселения, производственные территории, структурирование, оценка взаимодействия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Юшкова Н.Г. Специфика учета взаимодействия производственных территорий поселений с региональными системами расселения на муниципальном уровне территориального планирования // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 8. С. 1186–1200. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1186-1200

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

Interaction of production areas of settlements with regional settlement systems at the municipal level of territorial planning

Natalia G. Yushkova^{1,2}

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

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

Introduction. In modern urban planning of the Russian Federation, planning of development of municipalities in the established settlement systems has not become a priority strategic task. To date, the importance of these components of settlement systems is underestimated in the documentation of territorial planning of the settlement level, the dependence

of the dynamics of the observed changes on the functional profile of the territories is not revealed, and the assessment of objects is dominated by the ascertaining rather than predictive approach. However, the planning of the territory of this level is able to reduce the acuteness of contradictions between short-term and long-term prospects of regional development, as well as to ensure the accuracy of linking the formed objects of different sizes with non-typical functional programs.

Materials and methods. The methodological basis was provided by general scientific methods (system approach, system-structural analysis, comparative analysis, theoretical modelling) and special interdisciplinary methods (methods of graph-analytical modelling), scientific literature, data from official sites of statistical bodies and municipalities, open cartographic sources, urban planning documents of territorial planning.

Results. For the first time the systematization of planning situations of settlements, which differ from the known examples by implementation of projects of development of territories of special economic zones of industrial type of federal and regional importance was carried out. The system of assessment of settlement territories based on the principles of structuring and allocation of planning units of municipal settlement systems, i.e. settlements, has been developed and applied. The assessment allows determining qualitative and quantitative characteristics of settlements in the aggregate, which increases the validity of location and subsequent formation of objects.

Conclusions. The increment of scientific results consists in the improvement of the methodology of territorial planning of the municipal level. It is conditioned by the strengthening of the semantic importance of the settlement link in regional settlement systems. In this connection the technologies used for the development of urban planning solutions are being adjusted and the range of tasks solved by them is expanding. They are substantiated by the results of application of the system of settlement structures assessment with allocation of planning elements of the lower level of settlement, which provides comparability and typological ranking of the studied planning situations.

KEYWORDS: urban planning decisions, planning, regional settlement systems, settlements, industrial territories, structuring, interaction assessment

FOR CITATION: Yushkova N.G. Interaction of production areas of settlements with regional settlement systems at the municipal level of territorial planning. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1186-1200. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1186-1200 (rus.).

Corresponding author: Natalia G. Yushkova, ng_yushkova-v@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В профессиональной градостроительной деятельности Российской Федерации стратегический подход к планированию развития территорий муниципальных образований применяется предельно ограничено. Традиционно увязаны уровни разработки градостроительных решений и их значимость, выражающаяся в полноте разрабатываемых теоретических и методологических обоснований. Муниципальный уровень градостроительной деятельности априори подчинен региональному уровню. Предположительно, региональная система расселения имеет большую степень защиты от всевозможных рисков [1–5]. Соответственно, региональное планирование обладает большим потенциалом организации и координирования [6, 7]. На муниципальном уровне расселения, напротив, ошибки планирования способны накапливаться [8, 9].

Статус муниципальных образований позволяет им в лучшем случае рассчитывать на разработку тактики развития территорий. Значение поселенческого уровня муниципальных образований в построении связей с пространственными элементами и структурами регионального расселения рассматривается упрощенно или вовсе игнорируется [10]. Сложившаяся ситуация имеет определенные оправдания. Преимущественно агропромышленный профиль деятельности на территориях муниципальных образований и особенно сельских поселений до недавнего времени определял направления развития, и с этих позиций осуществлялось их планирование [11–14].

Социально-экономические процессы последнего десятилетия приводят к необходимости расширить научные представления о градостроитель-

ных процессах, реализуемых в границах территорий муниципальных образований. Реагируя на них, сельские поселения постепенно ослабляют свои позиции в вопросах, связанных с размещением традиционных видов деятельности, воспроизводства природного комплекса, рекреации.

Кроме того, система территориального планирования, продолжая свое формирование на протяжении последних 20 лет реформ градостроительного права, не остается статичной. Она призвана отражать процессы взаимодействия хозяйствующих субъектов в планировочном аспекте таким образом, чтобы снижать остроту возможных противоречий между относительным постоянством признаков среды обитания и обновляемыми формами жизнедеятельности населения.

В ряде научных работ недавнего времени освещаются вопросы совершенствования планирования территории, определяемого действием выявленных новых факторов влияния. Среди них: изменение народнохозяйственного профиля муниципальных образований, динамика численности населения, непрерывность производственной деятельности — все то, что оказывает влияние на повышение качества среды жизнедеятельности населения территорий [15–21].

Недостаточность разработки научных основ территориального планирования муниципального уровня объясняет повышение интереса ученых и исследователей к указанным вопросам. Сложность в принятии однозначных градостроительных решений связана с необходимостью единовременного учета разнохарактерных факторов, способных оказывать существенное влияние на процессы пространственной организации муниципальных образований [22, 23]. В этой связи значение систем-

ных принципов организации территорий и учета требований междисциплинарного подхода сложно переоценить [24, 25]. Дальнейшее рассмотрение обозначенных проблемных сфер способно развить существующие научные основания новых способов совершенствования системы разработки и оптимизации градостроительных решений, прежде всего, в части территориального планирования.

Потребность в изучении вопросов целенаправленной разработки градостроительных решений на уровне муниципальных систем расселения позволяет сформулировать следующие задачи исследования:

- обосновать место и роль муниципальных образований низового звена в региональных системах расселения;
- расширить научное поле эпизодичных и фрагментарных градостроительных исследований современных особенностей развития сельских поселений посредством систематизации разрозненной практики размещения в их границах особых экономических зон промышленно-производственного типа (ОЭЗ ППТ);
- выделить устойчивые тенденции формирования в сельских поселениях производственных территорий нового типа, сформулировать наиболее жизнеспособные направления их развития и прогнозирования потенциально возможных последствий этих процессов;
- определить специфику планирования поселений с развитой производственной функцией в системе регионального расселения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Решение поставленных в исследовании задач потребовало проведения анализа современной градостроительной документации муниципального уровня в статусе схем территориального планирования муниципальных районов и проектов генеральных планов сельских поселений, образующих исследуемые районы. Для проверки обоснованности разработанных положений этих документов в части планируемых на исследуемых территориях перспективных мероприятий использовались общедоступные геоинформационные материалы. Они, кроме того, сопоставлялись с данными о современном состоянии территории, полученными путем обращения к сервисам и продуктам различных официальных информационных ресурсов. Взятый за основу принцип действия метода системно-структурного анализа в исследовании получил развитие в методе структурирования территориальных систем, позволяющий рассматривать объекты более высокого порядка в виде совокупности пространственно организованных единиц более низкого порядка. Для повышения наглядности определения специфики процессов формирования исследуемых объектов и последующего установления их идентичности осуществлялись натурные обследования. Методы графоаналитического и теоретического моделиро-

вания, а также метод компаративного анализа дали возможность выполнить аналитические модельные схемы поселений, учитывающие потенциал изменения их состояния в связи с формированием производственных территорий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В последние годы ситуация с оценкой места и роли поселенческого звена в иерархической конструкции регионального расселения начинает меняться к лучшему. Отмечаемые изменения связаны, прежде всего, с тем, что для сельских поселений характерен большой удельный вес условно не урбанизированных или слабо урбанизированных территорий, по сравнению с освоенными территориями в их планировочных границах. Наличие в сельских поселениях территориального ресурса делает акцент задач планирования на сохранении и минимизации возможного ущерба. Это объясняет стремление к консервации их исходного, преимущественно сельскохозяйственного, профиля хозяйственного использования. В то же время разработка комплекса мер по размещению иных видов производств или организации долгосрочной деятельности не предполагается. Однако традиционные схемы размещения производства в планировочных границах сельских поселений претерпевают изменения. В частности, преобладание в районах определенного, например лесного, вида природного ресурса делает его флагманом развития экономики, что сопряжено с пересмотром подходов к размещению предприятий лесопромышленного комплекса и взаимосвязанными с ними сельскими поселениями [26]. В связи с этим возрастает потребность в поиске новых градостроительных решений. Современное развитие поселенческих структур также связано с перспективами размещения в их границах производственных мощностей «новой экономики» и планировочной организации объектов Индустрии 4.0 [5, 27–30]. Истощение пригодных для хозяйственного освоения территориальных ресурсов повсеместно неизбежно, особенно, если речь идет об урбанизированных пространствах.

По мере нарастания темпов этого процесса не следует ожидать того, что показатели удельного веса территорий сельских поселений для ведения агропромышленной деятельности могут оставаться неизменными. В свою очередь, среди последствий повышения производительности труда в сельском хозяйстве очевидно снижение его потребности в отчуждении территорий сельских поселений для реализации соответствующих функций. Это означает, что высвобождаемые территории могут реализовать не только смежные с аграрными производственные функции, но и альтернативные по отношению к ним. Таким образом, возникают объективные предпосылки при планировании территорий сельских поселений, которые обеспечивают рациональное размещение в их границах, наряду с агропромышленными предприятиями,

производственных объектов федерального и регионального значения с иными функциями.

Не менее высока вероятность проявления и других, слабо исследованных до настоящего времени факторов, вызывающих появление позитивных изменений в перспективной планировочной организации территорий поселений. Среди таких факторов может быть, в частности, выделено постоянство совершенствования институциональных основ принятия градостроительных решений [6, 25]. Они формализуются в законодательных и нормативно-правовых актах с различным статусом, а также в стратегических документах нового типа: многообразных доктринах, концепциях, стратегиях, меморандумах. Положения этих документов в современных условиях претендуют на максимально полное отражение во всех сферах деятельности и становятся обязательными условиями разработки градостроительных решений. Именно институциональный посыл этой надстройки и требования подчиненности ей градостроительной деятельности не допускают ее изоляцию от прочих сфер хозяйственной деятельности, и при этом становятся гарантом их реализации.

Благодаря этому градостроительная деятельность не может замыкаться в узких рамках специализированных решений и обязывает разрабатывать их комплексно, что сводит к минимуму отраслевые и территориальные конфликты. К этому и прямо, и косвенно призывают новейшие положения Градостроительного кодекса РФ, требующие точного отражения в градостроительной документации содержания стратегических документов [6, 7, 30].

В представленной работе, в частности, исследуется влияние на градостроительную деятельность, прежде всего на территориальное планирование, требований исполнения положений Федерального закона «Об особых экономических зонах в Российской Федерации» от 22.07.2005 № 116-ФЗ. Его принятие положило начало процессу разработки и реализации проектов развития преференциальных территорий с различными функциональными программами (ОЭЗ) во многих российских регионах. Наиболее широкое распространение в нашей стране приобрели ОЭЗ ППТ. В полученных ранее результатах исследования проблемы отражены особенности их размещения в макрорегиональном и в региональном аспектах. В частности, наибольшая активность градостроительных процессов, связанных с реализацией проектов ОЭЗ ППТ, зафиксирована в регионах Центрального федерального округа (ЦФО).

Проведенный анализ разрозненной градостроительной практики разработки и реализации проектов формирования ОЭЗ ППТ позволил выделить в регионах ЦФО следующие муниципальные образования (табл. 1, рис. 1):

- в Липецкой области Казинское сельское поселение Грязинского района — Грязинская площадка и сельское поселение Архангельский сельсовет

Елецкого района — Елецкая площадка (ОЭЗ ППТ «Липецк»);

- в Тульской области Каменецкое сельское поселение Узловского района (ОЭЗ ППТ «Узловая»);

- в Калужской области сельское поселение д. Заболотье Людиновского района — Людиновская площадка и сельское поселение д. Совьяки Боровского района — Боровская площадка (ОЭЗ ППТ «Калуга»);

- во Владимирской области Новосельское сельское поселение Ковровского района (ОЭЗ ППТ «Доброград-1»);

- в Воронежской области Никольское сельское поселение Новоусманского района (ОЭЗ ППТ «Центр»);

- в Орловской области Подмокринское сельское поселение Мценского района (ОЭЗ ППТ «Орел»).

В рамках решения сформулированных в исследовании задач проведен анализ размещения выделенных ОЭЗ ППТ в поселенческой системе региона и систематизация градостроительных ситуаций.

Для этих целей был разработан и применен метод структурирования исследуемых объектов, основанный на использовании системно-структурных принципов организации территориальных систем расселения [5, 25, 30]. Он позволяет выделить два основных типа элементов региональных систем расселения: элементы первого порядка — городские округа и муниципальные районы и элементы второго порядка — городские поселения и сельские поселения. Их выделение корреспондирует исторически сложившемуся расселению населения, административно-территориальному делению соответствующих территориальных систем и учитывает особенности существующей планировочной подчиненности разноразмерных объектов. Проведенный в исследовании анализ показал единство приемов при выборе местоположения территорий ОЭЗ ППТ в регионах ЦФО, а именно муниципальных образований первого порядка — муниципальных районов и муниципальных образований второго порядка — сельских поселений. Элементы второго порядка могут быть напрямую вычленины только из элементов первого порядка. Поэтому структурирование территориальных систем поселенческого уровня возможно осуществить только по результатам анализа пространственной организации территорий муниципальных районов.

Базовыми условиями формирования исследуемых поселений в составе муниципальных районов являются показатели: численность населения N и площадь территории в их границах S , производной от которых является плотность населения P (табл. 1). Посредством определения значений показателей N и S для муниципальных районов рассчитаны показатели P для каждого из них, а затем выделены их наибольшие и наименьшие значения. Существенные различия полученных значений P в муниципальных районах делают необходимым анализ подобных значений для всех остальных, помимо выделенных,

Табл. 1. Результаты определения зависимости плотности населения исследуемых муниципальных районов от показателей численности населения и площади территории (по состоянию на 2022 г.)

Table. 1. The results of determining the dependence of population density of the studied municipal districts on the indicators of population size and the area of the territory (as of 2022)

Показатели муниципальных районов Indicators of municipal districts	Узловский район Тульская область Uzlovsky district Tula region	Боровский район Калужская область Borovsky district Kaluga region	Новоусманский район Воронежская область Novousmansky district Voronezh region	Грязинский район Липецкая область Gryazinsky district Lipetsk region	Людиновский район Калужская область Ludinovsky district Kaluga region	Елецкий район Липецкая область Yelets district Lipetsk region	Ковровский район Владимирская область Kovrovsky district Vladimir region	Мценский район Орловская область Mtsensk district Orjol region
	a	b	c	d	e	f	g	h
S, км ² / km ²	631,25	759,56	1251,83	1440,00	954,45	1171,50	1817,00	1674,11
N, тыс. чел / thousand people	77,48	66,07	83,43	79,33	40,74	28,80	30,40	16,63
P, тыс. чел./км ² thousand people/km ²	122,74	86,98	66,65	55,10	42,69	24,59	16,73	9,93



Рис. 1. Определение соотношений показателей территорий городских (I) и сельских (II) поселений в составе муниципальных районов по результатам анализа их структурирования

Fig. 1. Determining the ratios of indicators of urban (I) and rural (II) settlements within municipal districts based on the results of the analysis of their structuring

аналогичных элементов региональных систем. Это позволяет классифицировать исследуемые ситуации на типовые и специфичные объекты.

Таким образом, используя набор полученных данных, — параметры территориальных систем муниципальных районов, возможно осуществление аналогового анализа их пространственной организации. Для этого выполняется структурирование муниципальных районов, в результате которого выделяются городские и сельские поселения, сопрово-

ждаемые проведением соответствующих расчетов (рис. 1). Анализ на их основе дал возможность установить наличие двух вариантов комбинаций муниципальных образований в составе муниципальных районов, которые позволяют получить кардинально различающиеся формы пространственной организации территорий. Первому варианту соответствует наличие в составе муниципальных районов единственного вида муниципальных образований второго порядка — сельских поселений (Новоусманский

район Воронежской области, Елецкий район Липецкой области, Мценский район Орловской области). Второй вариант описывает ситуации смешанного генеза, при которых в составе муниципальных районов наряду с сельскими поселениями выделяются также городские поселения (Узловский район Тульской области, Боровский и Людиновский районы Калужской области, Грязинский район Липецкой области, Ковровский район Владимирской области).

Следовательно, выявление в составе муниципальных районов городских поселений, наряду с сельскими поселениями, дает основание считать, что показатели урбанизированности этих территорий выше, по сравнению с прочими. Сельские поселения, как элементы второго порядка, выделяются на следующем уровне структурирования территориальных систем первого порядка. Исследование доказало применимость для них методической последовательности действий, используемых ранее при анализе элементов вышележащего уровня (табл. 2).

Прежде всего, имеется в виду, что первоначально следует определять базовые условия формирования поселений, раскрываемых совокупностью показателей S , N , P . Так как для полученных значений данных показателей характерны широкие диапазоны значений, то для повышения объективности оценивания градостроительных ситуаций и разработки соответствующей типологии целесообразно определять экстремумы указанных количественных показателей сельских поселений в системе исследуемых муниципальных районов. Таким образом, если между объектами, территориально принадлежащими разным муниципальным районам, наблюдается существенное расхождение полученных значений, то обеспечение их сопоставимости возможно путем позиционирования каждого, отдельно взятого поселения в соответствующем ему районе.

При использовании метода структурирования территориальных систем применительно к муниципальным образованиям второго порядка, в частности к сельским поселениям, отмечаются характерные особенности. Их изучение дает возможность сформулировать основные положения методики градостроительной оценки территориальных систем поселений, которая позволяет детализировать и конкретизировать полученные ранее результаты. В рамках представленной методики оценки целесообразно выделить основных этапов. Каждому из выделенных этапов соответствуют особые способы структурирования территориальных объектов, которые обеспечивают последовательное выявление их структурно-пространственной, функционально-пространственной и функционально-структурной организации.

На первом этапе структурирования территориальной системы выполняется структурно-пространственный анализ. При этом целостная (неделимая) поселенческая структура в ее границах приобретает новые характеристики за счет выявления со-

вокупности территорий всех населенных пунктов, не имеющих статуса муниципальных образований и расположенных за пределами их границ территорий. Населенные пункты поселений таким образом представляют собой основные и единственно возможные элементы расселения низового звена, в границах которых осуществляются стандартные процессы жизнедеятельности. На территориях поселений вне населенных пунктов выделяются характерные элементы природно-ландшафтной системы, территории сельскохозяйственного и производственного назначения. Для выполнения количественной составляющей оценки существующего состояния поселений определяются значения их общей площади $S_{\text{пос}}$ как суммы площадей территорий населенных пунктов $S_{\text{пн}}$ и территорий за пределами их границ $S_{\text{вне пн}}$. Поскольку сельское население сосредоточено исключительно в населенных пунктах и отсутствует за пределами их границ, то показатель его численности $N_{\text{пос}}$ при переходе к оценке на уровне поселения остается неизменным.

В рамках проводимого исследования были проанализированы градостроительные ситуации, соответствующие выделенным ранее сельским поселениям, в совокупности с полученными значениями количественных показателей. На этой основе определены различные варианты функционально-пространственной организации поселенческой структуры, которым предложено присваивать индексы k_s . Они отражают степень влияния населенных пунктов на процесс градостроительного использования территорий всего поселения в целом. Определены интервалы значений для k_s : > 0 ; $k_s \geq 0,05$; $k_s \geq 0,1$. Указанные индексы соответствуют трем разновидностям градостроительных ситуаций. Наибольшее распространение получили ситуации, при которых k_s имеет среднее значение. Наименее распространенными являются ситуации с высшими и низшими значениями индекса k_s , при которых удельный вес площадей территорий населенных пунктов в общей сумме площадей территорий поселений составляет около 20 % (Каменецкое и Подмокринское сельские поселения), и ситуации, в которых удельный вес площадей территорий населенных пунктов определяется в районе 3 % (сельское поселение Новосельское и Заболотье). Выявлена также общность для всех исследуемых поселений значений показателя удельного веса площадей в их границах за пределами населенных пунктов: они, как правило, значительно превышают 90 %.

Содержание аналитических действий этого этапа не ограничивается присвоением населенным пунктам в составе поселений соответствующих индексов, так как их наличие не дает полную картину их планировочной организации. Для ее получения необходимо построение картограмм поселений, которые представляют собой результат сравнительного анализа исследуемых объектов, отражающий

Табл. 2. Экстремумы количественных показателей исследуемых сельских поселений в поселенческой структуре муниципальных районов, в сравнительных характеристиках

Table. 2. Extremes of quantitative indicators of the studied rural settlements in the settlement structure of municipal districts, in comparative characteristics

Территории сельских поселений Territories of rural settlements	Сельские поселения / Rural settlements								
	Показатели поселений Settlement indicators	Каменское поселение Kamenets settlement	Поселение Совьяки Sovyaki settlement	Никольское поселение Nikolskoye settlement	Казинское поселение Kazinskoye settlement	Поселение Заболотье Zabolotye settlement	Архангельское поселение Arkhangelsk settlement	Новосельское поселение Novoselskoye settlement	Подмокринское поселение Podmokrinsky settlement
Исследуемые поселения Settlements under study	S , км ² / km ²	61,94 9,81 %	214,94 28,29 %	106,34 8,49 %	80,28 5,58 %	185,72 19,46 %	110,89 9,47 %	536,13 29,51 %	87,06 5,20 %
	N , чел. people	6,06 7,82 %	3,36 5,09 %	4,25 5,09 %	3,20 4,03 %	0,83 2,04 %	2,97 10,31	4,14 13,62 %	1,19 7,16 %
	P , чел./км ² people/km ²	97,90	15,63	39,97	39,86	4,47	26,78	7,72	13,67
Поселения в составе районов Settlements within districts	S , км ² / km ²	61,94–202,43	85,70–219,41	33,63–123,87	32,89–141,52	113,00–245,00	46,11–110,89	250,22–536,13	49,47–215,77
	N , чел. people	2,75–19,51	2,20–6,88	0,75–20,43	0,76–3,26	0,39–1,24	0,58–4,41	4,14–10,02	0,51–2,52
	P , чел./км ² people/km ²	18,49–97,90	10,01–68,20	11,22–305,34	9,8–53,24	2,40–9,16	9,00–54,95	7,72–40,06	4,49–51,02

сформированный пространственный порядок распределения населения в селитебных территориальных образованиях с выраженными эффектами пустотности или, наоборот, заполненности пустот территории (рис. 2).

Их соотношение отражает степень урбанизированности территорий поселений, а также потенциал перспективных трансформаций. При обоюдном учете графических и атрибутивных данных возможно последующее ранжирование градостроительных ситуаций через распознавание поселенческой структуры.

На втором этапе структурирования сельских поселений анализируются процессы их функционально-пространственной и функционально-структурной организации в развитие полученных ранее результатов анализа их структурно-пространственной организации. Важно понимать, что «внутреннее» строение сети населенных пунктов поселений

определяется неоднородностью размещения проживающего в них населения. Так как населенные пункты являются структурообразующими элементами территориальных систем низового звена, то ими будут ограничены виды рассматриваемых территориальных объектов. Соответственно, характеристики свободных от их размещения участков территорий не потребуют дальнейшей детализации.

Последующее структурирование территорий населенных пунктов в границах поселений обеспечивает их дифференциацию, которая обусловлена следующими факторами:

- выраженностью характеристик исторически сложившейся системы населенных пунктов и связей между ними;
- генетической предрасположенностью территорий поселений воспроизводить стандартные (традиционные) элементы поселенческой сети;

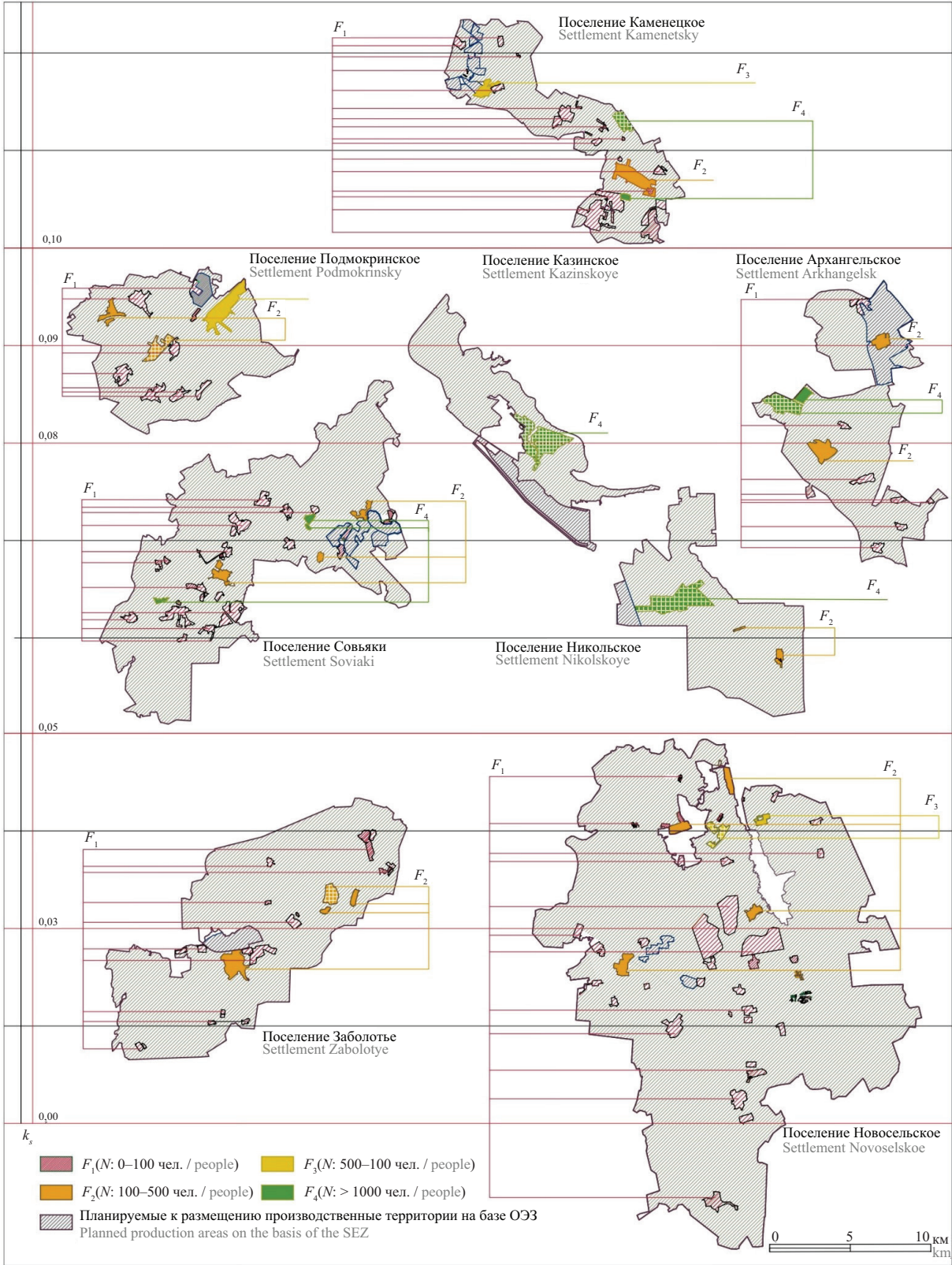


Рис. 2. Результаты диагностики исследуемых поселенческих структур низового звена расселения посредством выявления их структурно-пространственной, функционально-пространственной и функционально-структурной организации

Fig. 2. The results of diagnostics of the investigated settlement structures of the lower level of settlement by identifying their structural-spatial, functional-spatial and functional-structural organization

- выборочностью и ситуативностью закрепления функций административных центров поселений за отдельными населенными пунктами;
- физическим отсутствием определенных категорий населенных пунктов в составе поселений;
- тенденциозностью к изменению принятых категорий населенных пунктов;
- подчиненностью градостроительных форм населенных пунктов видам функциональных процессов в поселениях;
- сохранением принятых категорий населенных пунктов в ретроспективном временном срезе;
- тиражированием (максимальной повторяемостью) определенных категорий населенных пунктов в муниципальных системах расселения более высокого, по отношению к поселенческой сети, ранга.

Исходя из совокупности действия обозначенных факторов и результатов анализа применительно к территориям населенных пунктов, являющихся базовыми единицами расселения всех исследуемых сельских поселений, выделены их категории, положенные в основу дифференциации: до 100; 101–500; 501–1000; более 1000 человек. Роль каждой из выделенных категорий населенных пунктов в структурно-функциональной организации исследуемых поселений неодинакова. Очевидно, что населенные пункты, численностью населения менее 100 человек (F_1), находятся в критическом состоянии: при таких исходных показателях высока вероятность дальнейшего снижения, а также высокой динамики этого процесса. Населенные пункты с численностью населения до 500 человек (F_2) образуют категорию, составляющую группу риска. Для населенных пунктов с численностью населения, не превышающей 1000 человек (F_3), характерно пограничное состояние, заключающееся в потенциальной возможности перехода их в более низкую категорию. Таким образом, населенные пункты, в которых преодолен порог численности постоянного населения в 1000 человек, образуют категорию F_4 , становящуюся опорным элементом поселенческой системы расселения низового уровня.

Благодаря наличию в поселениях населенных пунктов, относящихся к категории F_4 , повышаются гарантии обеспечения их относительно устойчивого функционирования, а также создаются определенные перспективы потенциального развития. Исходя из этого, данная категория населенных пунктов выделена и промаркирована особым образом. В случае, если в поселениях не выявляются категории населенных пунктов, в которых достигается требуемая численность населения, то категории населенных пунктов, имеющие меньшую численность, принимают на себя указанные функции.

Выделенные категории населенных пунктов имеют неодинаковый удельный вес в образуемых ими сельских поселениях. В целом для большей части поселений характерен высокий удельный вес на-

селенных пунктов из категории F_4 : 100 % (Казинское сельское поселение), более 90 % (Никольское сельское поселение), более 80 % (сельское поселение Архангельский сельсовет), более 70 % (Каменецкое сельское поселение и сельское поселение д. Совьяки). Как правило, с повышением общей численности населения в данной категории населенных пунктов происходит снижение занимаемых ими площадей территорий.

При отсутствии в составе поселений населенных пунктов из категории с максимальной численностью населения структурообразующими элементами могут становиться населенные пункты с меньшей численностью населения, например сельские поселения: Подмокринское, Новосельское и д. Заболотье.

Результаты анализа функционально-пространственной и функционально-структурной организации поселенческой структуры сведены в картограммы исследуемых поселений, построенные по аналогии с предыдущими картограммами (рис. 2). В них показаны итоги дифференциации застроенных в границах населенных пунктов территорий в соответствии с установленными категориями. При условии, что графически выделяются в каждом из поселений населенных пунктов имеющихся категорий, возможно установить схемы их распределения как изолированного, так и взаимного, а также рассчитать соотношение фрагментов освоенных в результате градостроительной деятельности территорий и территорий, не застроенных на момент оценки, имеющих различное градоформирующее значение для поселений.

На завершающем этапе работы решается задача обоснования актуальных способов взаимодействия производственных территорий поселений на базе ОЭЗ со сложившимися элементами поселенческих структур.

Начало предлагаемому исследовательскому подходу положено в проведенных ранее разработках [5–7, 25, 30]. В них аргументированы закономерности развития территориальных систем регионального уровня, определяемые различными вариантами взаимодействия образующих их элементов, а также обоснована применимость для последующего использования в региональном планировании территориальных систем, прежде всего, при разработке концепций и схем территориального планирования субъектов РФ, городских округов. Полученные результаты представляется целесообразным распространить на систему муниципального планирования уровня сельских поселений. В ее рамках важно обособить разработки градостроительных документов, соответствующие исследуемым территориальным объектам, — проекты генеральных планов поселений.

Для разработки генеральных планов поселений принципиальное значение имеет совмещение приемов формализации описания и особенностей их планировочных организаций как низовых элементов расселения, причем, в аспекте их перспективного развития, а не текущего функционирования. Это означает, что обосновывающие и результирующие

положения градостроительной документации поселенческого уровня зависимы от положений, сформированных на вышележащих уровнях территориального планирования.

Выявленные на уровне региональных систем расселения закономерности их формирования под действием реализации проектов ОЭЗ ППТ могут применяться опосредованно, через реализацию требований их адресной адаптации к специфике территорий поселенческого уровня. На региональном уровне в оценке ОЭЗ в составе производственных территорий преобладают такие их характеристики, как способность выступать драйверами ускоренного развития территории за счет активизации ее потенциала и аккумулирования, прежде всего, трудовых ресурсов как в основных, так и в вспомогательных производствах. Подчиняясь этому, градостроительный аспект оценки приобретает латентную форму.

На поселенческом уровне планировочной организации исследуемых объектов градостроительная составляющая оценки способна акцентироваться: выделенные ранее характеристики становятся детальными и конкретными. Таким образом, требования адаптации региональных подходов к уровню муниципальных образований достижимы. Они способны реализоваться посредством объединения изолированно существующих блоков обоснования градостроительных решений о перспективном (планируемом) размещении производственных территорий на базе ОЭЗ ППТ:

- в вертикальной проекции для осуществления перехода к оценке процесса взаимодействия элементов в составе территориальных систем от одного иерархического уровня к другому;
- в горизонтальной проекции, выражающиеся в принятии методологической зависимости взаимодействия элементов как эффектов их размещения, позволяющие образовывать их новые планировочные конфигурации.

В исследовании в основу анализа конкретных градостроительных ситуаций, характеризующих варианты размещения ОЭЗ ППТ, положен принцип подобия территориальных систем поселений в целом и образующих их компонентов. Данный принцип при анализе предложено применять одновременно к поселенческим структурам в их границах (объектам в целом) и к определенным их территориальным составляющим в существующих поселенческих структурах в границах планировочных ареалов, устанавливаемых от границ размещения ОЭЗ ППТ.

Для анализа взаимодействия ОЭЗ ППТ и систем расселения используются совмещенные картограммы, построенные посредством структурирования планировочной организации территориальных объектов (см. рис. 2). Результаты анализа в концентрированном виде позволяют установить наличие эффектов размещения ОЭЗ ППТ. Их предложено ранжировать следующим образом:

- полное подобие устанавливаемых признаков в планировочном ареале ОЭЗ ППТ и в поселениях;
- преимущественное совпадение признаков;
- незначительные отклонения признаков, отмечаемых в планировочном ареале ОЭЗ ППТ, от признаков поселений;
- выявление в планировочном ареале ОЭЗ ППТ специфических характеристик, существенно отличающихся от признаков поселений.

Также определяются эффекты размещения ОЭЗ ППТ, как степень воспроизведения признаков территориальных систем в ОЭЗ ППТ, что является основной компонентой диагностики состояния объектов исследования (рис. 3).

Результаты диагностических исследований предложено использовать для обоснования градостроительных решений на уровне муниципального планирования. К разработке оптимальной схемы планируемых к размещению объектов в поселенческих структурах применяется сценарный подход. Это позволило сформировать следующий типологический ряд потенциально возможных форм взаимодействия элементов в системах расселения: слияние, поглощение, замещение, присоединение, автономизация.

Сценарии развития территорий поселений различаются видами и интенсивностью градостроительного вмешательства в сложившиеся территориальные структуры. Обоснование той или иной стратегии предложено закладывать в основу разработки соответствующих документов территориального планирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Повышение значимости муниципального уровня расселения в системе управления территорией обусловлено активностью социально-экономических процессов последнего десятилетия. Они вызывают перераспределение «центров тяжести» градостроительной деятельности между муниципальными образованиями, выделяя аспекты региональной идентичности. Научно-технический прогресс способствует инноватизации всех видов деятельности, организуемой на территории. Это — одна из причин нарастания темпов роста элементов поселенческой системы нового типа. Их характерные особенности связаны с реализацией в их границах проектов формирования производственных территорий на базе ОЭЗ, имеющих преференциальные режимы развития.

Территориальные объекты, являющиеся результатами их реализации, становятся средствами планировочной реабилитации существующих структур, образуемых сетью населенных пунктов, интеграторами новых связей процессов и объектов. В связи с проявлением указанных свойств в поселениях предотвращается дальнейший миграционный отток населения с сельских территорий за счет обеспечения взаимосвязанного развития простран-

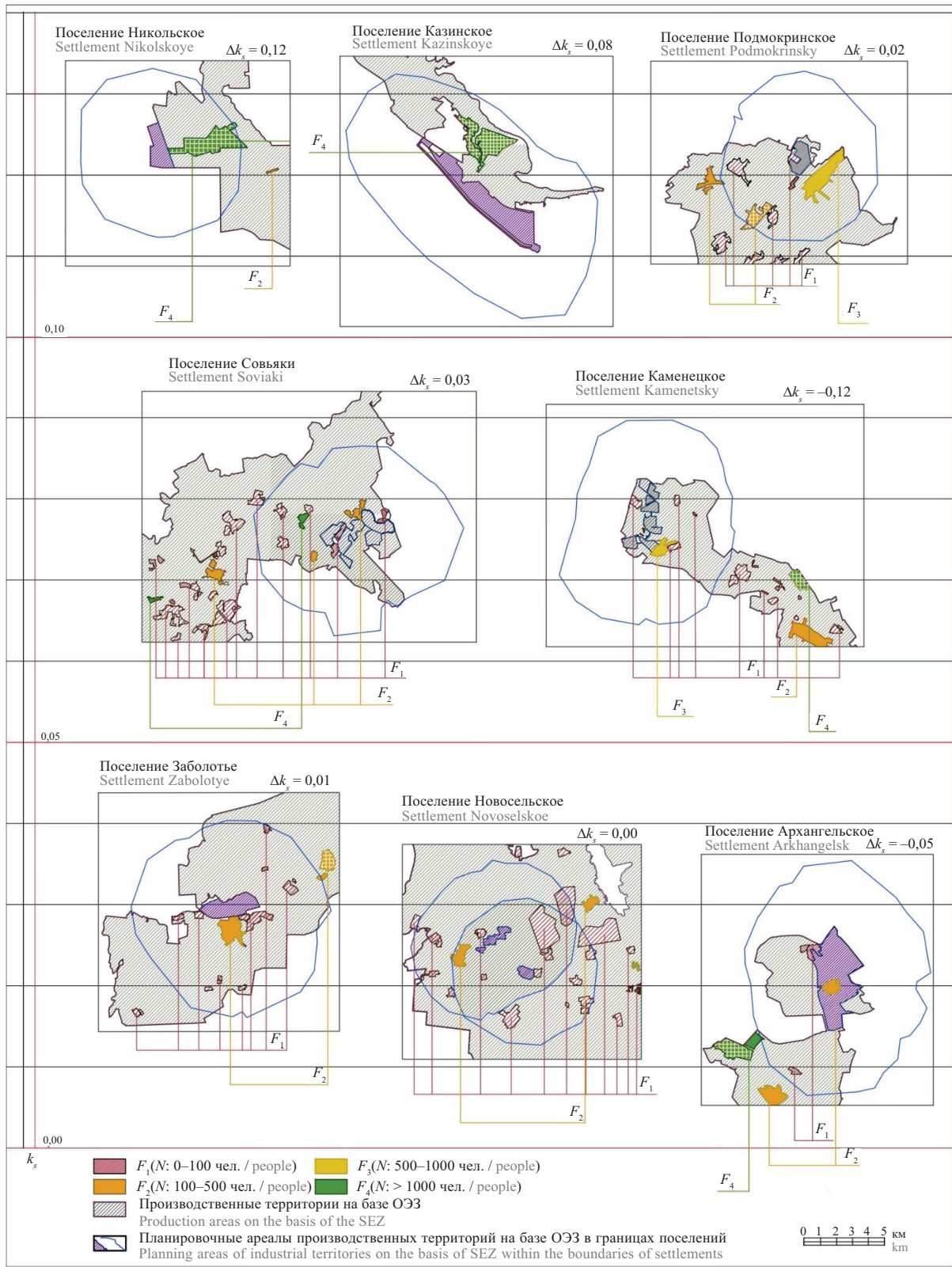


Рис. 3. Результаты градостроительной оценки вариантов размещения исследуемых производственных территорий в сложившихся поселенческих структурах низового уровня

Fig. 3. The results of the urban planning assessment of the options for the location of the studied industrial territories in the established settlement structures of the grassroots level

ственно-рассредоточенных функциональных процессов и упорядочения существующей планировочной организации населенных пунктов. Все это в совокупности повышает гарантии устойчивости муниципальных систем расселения, в том числе и в аспекте целенаправленного повышения качества среды жизнедеятельности людей.

Для обеспечения большей объективности перспективного выбора и последующего развития территорий, обладающих выявленными преимуществами, предлагается специальная система их градостроительной оценки. Она формируется в развитие принципов системно-структурного анализа, на основе которых разработаны и определены направления использования метода структурирования территориальных систем.

В аспекте решаемых в исследовании задач акцент сделан на муниципальном уровне формирования систем расселения, и в частности на планировочной организации поселенческих структур.

Структурирование сопряжено с последовательностью процесса распознавания свойств элементов систем и их признаков и осуществляется поэтапно. На первом этапе оценки выделяются характеристики освоенности территорий поселений, от которых зависит потенциал их развития. В рамках второго этапа оценки выделенные характеристики получают дальнейшую детализацию и конкретизируются. В рамках обоих этапов, таким образом, последовательно дифференцируется все потенциально возможное многообразие элементов поселений — населенных пунктов, с определением наиболее значимых для градостроительной деятельности.

Установление содержания выделяемых этапов градостроительной оценки поселений является обязательной составляющей диагностики сложившихся систем расселения исследуемого уровня. Кроме этого, рассмотренные диагностические приемы мо-

гут быть использованы также для оценки способов взаимодействия поселений (как низовых звеньев региональной системы расселения) и локализаций производственных территорий. В исследовании обоснована и апробирована методика оценки различных вариантов их взаимодействия. В ее составе предложено определять эффекты размещения исследуемых объектов в качестве инструмента градостроительного анализа. Он учитывает специфику планировочной организации территории, являющейся результатом наложения поселенческих структур и их фрагментов. Таким образом, устанавливаемые соответствия рассматриваются как объективная основа разрабатываемых градостроительных решений по планированию их развития и средство повышения их аргументированности.

Полученные результаты диагностики используются для разработки градостроительных сценариев при составлении прогнозов развития территорий, вызываемых формированием производственных территорий на базе ОЭЗ. Проведенное исследование показывает наличие различных форм взаимодействия элементов в системах расселения. Целесообразно выделить следующего типологического ряда потенциально возможных планировочных форм: слияние, поглощение, замещение, присоединение, автономизация.

Развитие принципов градостроительного сценарирования сопряжено с дальнейшим изучением закономерностей муниципальных образований на высшем по отношению к поселениям уровне формирования систем расселения. В новом цикле научных работ планируется проведение исследований, показывающих степень изменчивости базового содержания сценариев развития территорий, обусловленной действием факторов региональной идентичности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ахмедова Е.А. Методы градостроительного регулирования региональной среды обитания: градостроительный мониторинг, оценка земель, прогноз развития : автореф. дис. ... д-ра архитектуры. СПб., 1994. 71 с.
2. Большаков А.Г., Скрябин П.В. Проблемы, принципы и методы градостроительной организации территории Приольхонья // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10. № 1 (32). С. 140–151. DOI: 10.21285/2227-2917-2020-1-140-151
3. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Принципы стратегического планирования развития территорий (на примере федеральной земли Бавария) // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 2. С. 158–168. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.158-168

4. Каракова Т.В. Методы структурной реорганизации градостроительных систем: Миграционный аспект : автореф. дис. ... д-ра архитектуры. Самара, 2004. 47 с.
5. Юшкова Н.Г. Потенциал пространственной системы региона в определении инновационной стратегии развития территории (на примере Волгоградской области) // Регионы России: стратегии и механизмы модернизации, инновационного и технологического развития : тр. Восьмой Междунар. науч.-практ. конф. 2012. С. 400–405.
6. Юшкова Н.Г., Донцов Д.Г. Концепция системного регулирования и методология реорганизации территориальных систем // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020.

Т. 10. № 3 (34). С. 486–503. DOI: 10.21285/2227-2917-2020-3-486-503 EDN VGQVPM.

7. *Dontsov D.G., Yushkova N.G., Gushchina E.G.* A new spatial strategy approach in Russian regions: from the reflexing planning solutions to territorial integration conception // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 463. P. 032055. DOI: 10.1088/1757-899X/463/3/032055

8. *Бабкин А.В., Бухвальд Е.М.* Проблемы стратегического планирования в региональном и муниципальном звене управления Российской Федерации // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2015. № 4 (223). С. 25–37. DOI: 10.5862/JE.223.2 EDN UGWKFV.

9. *Antipova E.A., Fakeyeva L.V.* Settlement system of Belarus. Spatial and temporal trends at the end of 20th and the beginning of the 21st centuries // Journal of Settlements and Spatial Planning. 2012. Vol. 3. Issue 2. Pp. 129–139.

10. *Кабанов В.Н., Михайлова В.Н.* Перспективы пространственно-стратегического развития сельских муниципальных районов России // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 4 (20). С. 318–328.

11. *Алексеев Ю.В.* Совершенствование системы образовательной и научно-проектной деятельности на базе методологии пространственной организации поселений // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 4. С. 23–29. EDN VWRBZN.

12. *Мерзлов А.В., Садыков М.Р., Чайка В.П., Овчинцева Л.А., Попова О.А.* Введение в устойчивое развитие сельских территорий: важнейшие понятия и теоретические основы. М., 2012. 57 с.

13. *Павлов А.Ю.* Типологизация сельских территорий по уровню и устойчивости социально-экономического развития // International Agricultural Journal. 2019. Т. 62. № 4. С. 38. DOI: 10.24411/2588-0209-2019-10113 EDN ZXSFFR.

14. *Алексеев Ю.В., Перекопская М.А.* Подход к оценке территорий с развитым лесопромышленным комплексом (на примере Архангельской области) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 2. С. 62–71. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-62-71 EDN WDGOSY.

15. *Зубаревич Н.В.* Трансформация сельского населения и сети услуг в сельской местности // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2013. № 3. С. 26–38. DOI: 10.15356/0373-2444-2013-3-26-38

16. *Danilina N.V., Harder R.* “Mobility game”: Interactive technology for urban planning education // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 775. Issue 1. P. 012009. DOI: 10.1088/1757-899X/775/1/012009

17. *Danilina N.V., Privezentseva S.V.* Smart space solutions of pedestrian ways in public transport transit hubs // IOP Conference Series: Materials Science and

Engineering. 2020. Vol. 775. Issue 1. P. 012008. DOI: 10.1088/1757-899X/775/1/012008

18. *Теличенко В.И., Щербина Е.В.* Социально-природно-техногенная система устойчивой среды жизнедеятельности // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 6. С. 5–12. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.5-12 EDN KUKAGX.

19. *Shcherbina E., Gorbenkova E.* Factors influencing the rural settlement development // IFAC-PapersOnLine. 2019. Vol. 52. Issue 25. Pp. 231–235. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.12.478

20. *Шубенков М.В., Шубенкова М.Ю.* К вопросу поиска сбалансированного сосуществования природных и урбанизированных территорий // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2019. № 3 (27). С. 3–16. DOI: 10.21869/23-11-1518-2019-27-3-3-16. EDN NDVORI.

21. *Птичникова Г.А.* Устойчивое развитие городов на принципах биосферной совместимости с природным комплексом // Innovative Project. 2016. Т. 1. № 4. С. 112–116. DOI: 10.17673/IP.2016.1.04.13

22. *Щербина Е.В., Горбенкова Е.В.* Современные подходы градостроительного проектирования сельских поселений и малых городов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2018. № 4 (24). С. 105–116. EDN VYBIKR.

23. *Перекопская М.А., Алексеев Ю.В.* Организация территорий с развитым лесопромышленным комплексом (на примере Швеции и России) // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 9. С. 1228–1238. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1228-1238

24. *Yenin A.E., Liventseva A.V.* System approach in urban planning. History. General foundations. Objects of system researches // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2017. Vol. 1 (33). Pp. 91–101. EDN YPPHWL.

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

26. *Перекопская М.А., Алексеев Ю.В.* Планирование поселений в лесопромышленных районах (на примере Архангельской области) // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 9. С. 1124–1135. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.9.1124-1135

27. *Shubnikov M.V., Mityagin S.D., Gaevs-kaya Z.A.* The sixth technological revolution in construction industry: Noospheric paths // Advances in Energy and Environment Research. 2017. Pp. 129–134. DOI: 10.1201/9781315212876-27

28. *Юдина М.А.* Индустрия 4.0: перспективы и вызовы для общества // Государственное управление. Электронный вестник. 2017. № 60. С. 197–215.

29. *Китайгородский М.Д.* Индустрия 4.0 и ее влияние на технологическое образование // Современ-

ные наукоемкие технологии. 2018. № 11–2. С. 290–294. EDN YVMCZV.

30. Yushkova N.G., Gushchina E.G., Gaponenko Yu.V., Dontsov D.G., Gushchin M.S. Infrastructural

priorities and regularities of spatial development of regional systems // The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS: CIEDR 2018. 2019. Pp. 474–483. EDN HAXGZR.

Поступила в редакцию 20 марта 2023 г.

Принята в доработанном виде 14 июня 2023 г.

Одобрена для публикации 7 июля 2023 г.

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

REFERENCES

1. Akhmedova E.A. *Methods of urban planning regulation of the regional habitat: urban monitoring, land assessment, development forecast : dissertation abstract ... Doctor of Arts*. St. Petersburg, 1994; 71. (rus.).
2. Bolshakov A.G., Skryabin P.V. Urban development of the near-Olkhon territory: problems, principles and methods. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2020; 10(1):140-151. DOI: 10.21285/2227-2917-2020-1-140-151 (rus.).
3. Ilyichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. Principles of area development strategic planning (the case of the free state of Bavaria). *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2019; 14(2):158-168. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.158-168 (rus.).
4. Karakova T.V. *Methods of structural reorganization of urban systems: migration aspect : dissertation abstract ... Doctor of Architecture*. Samara, 2004; 47. (rus.).
5. Yushkova N.G. The potential of the spatial system of the region in determining the innovative strategy for the development of the territory (on the example of the Volgograd region). *Regions of Russia: strategies and mechanisms for modernization, innovative and technological development : Proceedings of the Eighth International Scientific and Practical Conference*. 2012; 400-405. (rus.).
6. Yushkova N.G., Dontsov D.G. A concept of system regulation and a methodology of reorganizing territorial systems. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2020; 10(3): 486-503. DOI: 10.21285/2227-2917-2020-3-486-503 EDN VGQVPM (rus.).
7. Dontsov D.G., Yushkova N.G., Gushchina E.G. A new spatial strategy approach in Russian regions: from the reflexing planning solutions to territorial integration conception. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 463:032055. DOI: 10.1088/1757-899X/463/3/032055
8. Babkin A.V., Bukhvald E.M. Strategic planning issues at the regional and municipal level management of the Russian Federation. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*. 2015; 4(223):25-37. DOI: 10.5862/JE.223.2 EDN UGWKFV. (rus.).
9. Antipova E.A., Fakeyeva L.V. Settlement system of Belarus. Spatial and temporal trends at the end of 20th and the beginning of the 21st centuries. *Journal of Settlements and Spatial Planning*. 2012; 3(2):129-139.
10. Kabanov V.N., Mikhaylova E.V. Perspectives of spatial and strategic development of rural municipal districts of Russia. *Bulletin of the APK of Stavropol*. 2015; 4(20):318-328. (rus.).
11. Alekseev Y.V. Improving the educational system and scientific-design activity on the basis of methodology of spatial organization of settlements. *Industrial and Civil Engineering*. 2016; 4:23-29. EDN VWRBZN. (rus.).
12. Merzlov A.V., Sadykov M.R., Chaika V.P., Ovchintseva L.A., Popova O.A. *Introduction to the sustainable development of rural areas: the most important concepts and theoretical foundations*. Moscow, 2012; 57. (rus.).
13. Pavlov A.Yu. Typology of rural areas in terms of the level and sustainability of socio-economic development. *International Agricultural Journal*. 2019; 62(4):38. DOI: 10.24411/2588-0209-2019-10113 EDN ZXSFFR. (rus.).
14. Alekseev Yu., Perekopskaya M. Approach to the assessment of territories with a developed forestry complex (on the example of the Arkhangelsk region). *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020; 2:62-71. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-62-71 EDN WDGOSY. (rus.).
15. Zubarevich N.V. Transformation of rural settlement pattern and service network in rural areas. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2013; (3):26-38. DOI: 10.15356/0373-2444-2013-3-26-38 (rus.).

16. Danilina N.V., Harder R. "Mobility game": Interactive technology for urban planning education. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 775(1):012009. DOI: 10.1088/1757-899X/775/1/012009
17. Danilina N.V., Privezentseva S.V. Smart space solutions of pedestrian ways in public transport transit hubs. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 775(1):012008. DOI: 10.1088/1757-899X/775/1/012008
18. Telichenko V.I., Shcherbina E.V. Social-natural-technogenic system of sustainable environment of vital activity. *Industrial and Civil Engineering*. 2019; 6:5-12. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.5-12 EDN KUKAGX (rus.).
19. Shcherbina E., Gorbenkova E. Factors influencing the rural settlement development. *IFAC-PapersOnLine*. 2019; 52(25):231-235. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.12.478
20. Shubenkov M., Shubenkova M. Towards to the question of searching a balanced coexistence of natural and urbanized territories. *Biospheric compatibility: man, region, technologies*. 2019; 3(27):3-16. DOI: 10.21869/23-11-1518-2019-27-3-3-16 EDN NDVORI. (rus).
21. Ptichnikova G.A. Sustainable development of cities on the principles of the biosphere compatibility. *Innovative Project*. 2016; 1(4):112-116. DOI: 10.17673/IP.2016.1.04.13 (rus).
22. Shcherbina E., Gorbenkova E. Modern approaches of urban development design of rural settlements and small cities. *Biospheric compatibility: man, region, technology*. 2018; 4(24):105-116 EDN VY-BIKR. (rus).
23. Perekopskaya M.A., Alekseev Yu.V. Management of territories that accommodate advanced timber industry enterprises (as illustrated by Sweden and Russia). *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(9):1228-1238. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1228-1238 (rus.).
24. Yenina A.E., Liventseva A.V. System approach in urban planning. History. General foundations. Objects of system researches. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2017; 1(33):91-101. EDN YPPHWL.
25. Yushkova N.G., Gushchina E.G., Dontsov D.G., Fikhtner O.A. Spatial development dichotomy: assessment of the potential and implementation of territorial systems. *The European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*. 2019. DOI: 10.15405/epsbs.2019.12.05.97
26. Perekopskaia M.A., Alekseev Y.V. Planning of settlements in timber-producing areas (on the example of the Arkhangelsk region). *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(9):1124-1135. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.9.1124-1135 (rus.).
27. Shubenkov M.V., Mityagin S.D., Gaevs-kaya Z.A. The sixth technological revolution in construction industry: Noospheric paths. *Advances in Energy and Environment Research*. 2017; 129-134. DOI: 10.1201/9781315212876-27
28. Yudina M.A. Industry 4.0: Prospects and Challenges for Society. *Public Administration. Electronic messenger*. 2017; 60:197-215. (rus.).
29. Kitaygorodskiy M.D. Industry 4.0 and its impact on technological education. *Modern High Technologies*. 2018; 11-2:290-294. EDN YVMCZV. (rus.).
30. Yushkova N.G., Gushchina E.G., Gaponenko Yu.V., Dontsov D.G., Gushchin M.S. Infrastructural priorities and regularities of spatial development of regional systems. *The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS: CIEDR 2018*. 2019; 474-483. EDN HAXGZR.

Received March 20, 2023.

Adopted in revised form on June 14, 2023.

Approved for publication on July 7, 2023.

BIONOTES: Natalya G. Yushkova — Candidate of Architecture, Associate Professor, Doctoral Student of the Department of Urban Planning, Advisor to RAASN; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Urban Construction, Economics and Project Management; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenina avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; ID RSCI: 513635, Scopus: 57193128174, ResearcherID: AAR-1414-2021, ORCID: 0000-0001-8845-9585; ng_yushkova-v@mail.ru.

RESEARCH PAPER / НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

UDC 72.025.5

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1201-1211

Changes and the principle of assessment of readiness for changes in the life cycle of buildings

Dmitry A. Khrustalev*Moscow Institute of Architecture (State Academy) (MARKHI); Moscow, Russian Federation***ABSTRACT**

Introduction. The subject of this study is volumetric and spatial elements of a building and their locations. Practical significance of the study is to accelerate decision making in the selection of properties for further practical work of arrangement. The purpose of the study is to find the possibility of comprehensive evaluation of architectural solutions for hypothetical changes, such as functional purpose. Scientific novelty: the possibility of simplifying prospective changes at the design stage is considered.

Materials and methods. The spectrum of changes to buildings over time is described – from operational needs, through renovations to major renovations. The basis of the work is rich in frequent changes material on buildings for research and risky innovation. A range of changes, statistically frequently occurring in civil engineering buildings, is presented. Empirical and theoretical research methods have been used in an integrated way.

Results. A list of the techniques is given which the architect can use to facilitate possible future changes in a building or premises, related to a change of activity, a change of tenant or owner. The characteristics of the parties involved in considering each of the features of the property are described. Two simplified examples are used to assess the architectural solutions affecting the possibility of future changes. An assessment package for determining a building's readiness for prospective change, using office-type ordinal diagrams, is given.

Conclusions. The appraisal apparatus can be used to compare properties that are to be converted (due to sale or rent). The application of the presented appraisal apparatus will require the creation of a mathematical formula that takes into account the significant database for each of the properties. The result of the appraisal is a summary in numerical form and a diagram reflecting the architectural solution, showing the building's readiness for future changes.

KEYWORDS: building life cycle, change, redundancy, architectural and spatial technique, architectural evaluation, change of activity, perspective, property rental and sale, spatial readiness

FOR CITATION: Khrustalev D.A. Changes and the principle of assessment of readiness for changes in the life cycle of buildings. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1201-1211. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1201-1211 (rus.).

Corresponding author: Dmitry A. Khrustalev, promgettista@yandex.ru.

Изменения и принцип оценки готовности к изменениям в жизненном цикле зданий

Дмитрий Александрович Хрусталеv*Московский архитектурный институт (государственная академия) (МАРХИ); г. Москва, Россия***АННОТАЦИЯ**

Введение. Предмет исследования — объемно-пространственные элементы здания и их места размещения. Практическая значимость исследования — ускорение принятия решения при выборе объектов недвижимости для дальнейшей практической работы по обустройству. Цель исследования — найти возможность комплексной оценки архитектурных решений для гипотетических изменений, таких как функциональное назначение. Научная новизна: рассматривается возможность упростить перспективные изменения на этапе проектирования.

Материалы и методы. Описан спектр изменений в зданиях с течением времени — от эксплуатационных потребностей, перепланировок до капитального ремонта. Основанием работы является богатый на частые изменения материал по зданиям для научно-исследовательской и рискованной инновационной деятельности. Приведены разные по масштабу изменения, сравнительно часто встречающиеся в зданиях гражданского назначения. Используются комплексно эмпирические и теоретические методы исследования.

Результаты. Перечислены приемы, используя которые архитектор может упростить возможные в будущем изменения в здании или помещении, связанном с перепрофилированием деятельности, со сменой арендатора или владельца. Описаны характеристики сторон рассмотрения каждой из особенностей объекта недвижимости. На двух упрощенных примерах проведена оценка архитектурных решений, влияющих на возможность перспективных изменений. Приводится оценочный комплекс по определению готовности здания к перспективным изменениям с применением ординарных диаграмм офисного типа.

Выводы. Оценочный аппарат может быть использован для сравнения объектов недвижимости, которым предстоит перепрофилирование (в связи с продажей или сдачей в аренду). Для применения представленного аппарата оценки

потребуется создание математической формулы, учитывающей значительную по объему базу данных для каждого из объектов. Результат оценки — краткая запись в числовой форме и диаграмма, отражающая архитектурное решение, наглядно демонстрирующая степень готовности здания к изменениям.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: жизненный цикл здания, изменения, резервирование, архитектурно-пространственный прием, смена деятельности, перспектива, аренда и продажа недвижимости, пространственная готовность

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Хрусталеv Д.А. Changes and the principle of assessment of readiness for changes in the life cycle of buildings // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 8. С. 1201–1211. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1201-1211

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Александрович Хрусталеv, promgettista@yandex.ru.

INTRODUCTION

Buildings undergo changes depending on their functional profile. It is an unfeasible task to foresee the possibility of any change. Statistically, it isn’t even necessary [1]. Still, it is very desirable to be able to carry out alterations as easily as possible. Moreover, it is a resource-saving undertaking to understand the complexities of the possibility of making any changes before construction work starts and even before renting / buying a property.

MATERIALS AND METHODS

Scale of change over the life cycle of buildings

According to a sustainable architecture paradigm, buildings in every phase of their life cycle have to be efficient and environmentally friendly. New construction has the advantage in this respect over renovation since all modern spatial and structural design possibilities are open. There is also the possibility of choosing almost any material both in the finish and within any structure. The conditions of reconstruction have their solutions on all these points, but they are naturally limited due to the existing spatial dimensions and structural solutions. On the whole, the presence of a building limits a creativity scope [2]. At this stage the idea arises — “it’d be easier and better if there were no *this*, or *that*...”. Thinking about it, in terms of the life cycle of a building, even

ry alteration after commissioning is a reconstruction to a greater or lesser extent [3].

The number of such changes may be small. This is typical for buildings with a single, unchanging activity profile, such as apartment buildings, kindergartens, or public bathing facilities. There is no reason to change much there, if everything is working as it should. And yet, virtually every building element has a lifetime [4]. For example, wooden structures require regular maintenance, such as impregnation or painting. Glazing needs to be cleaned fairly often and replaced frequently, especially when there is a mechanical impact. These small actions little by little extend the life of a building. These little measures make small, nevertheless positive, impacts on the life cycle (Fig. 1).

Significant changes to the building are other — extensions, additions, replacement of worn-out structural elements. These tasks require structural strength surveys. The structural fatigue parameter is calculated¹ and the degree of building deterioration is determined². At some point, the combination of these values can lead to a hard decision to overhaul or even to a demolition. Obviously, these tasks have a very serious impact on the life of a building. They are a Milestone in the life cycle of a building.

Considering that sustainability and efficiency must be a constant priority in a building [5], whatever the stage of its lifecycle, the following tasks are worth

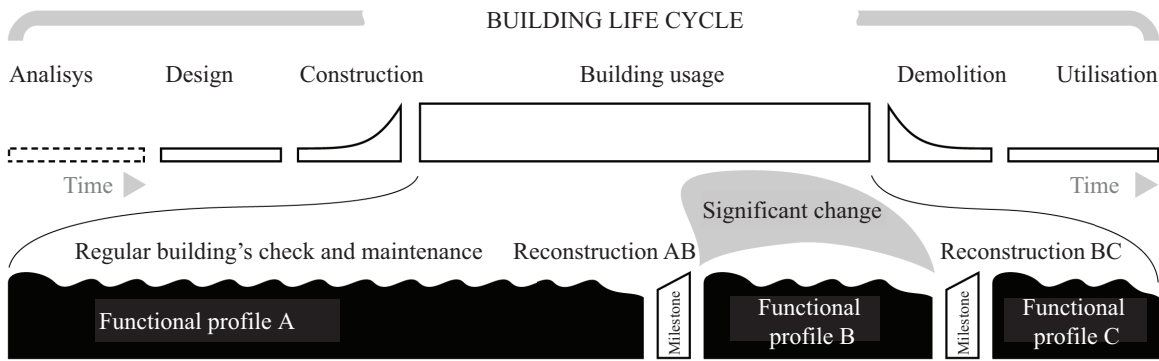


Fig. 1. Full building life cycle scheme (upper part) and usage detailing (lower part). Black zones expose the main building’s functionality periods. Milestones abstractly show rare significant changes made within building in correspondence to profile changes (A to B and D to C). The waves at the top of the ordinal use phases reflect the need for operation and periodic maintenance

¹ GOST 31937–2011. Buildings and constructions. Rules for inspection and monitoring of technical condition. Interstate standard. Appendix C. Moscow, 2014; 59.

² VSN 53–86 (r). Rules for estimation of physical wear of residential buildings. Part. 1.1. Moscow, Preiskurantizdat publ., 1988; 54.

noting. Both at the design and operating phase it is desirable to:

- simplify and minimize small changes, if it is not possible to eliminate them altogether;
- to postpone major changes by lengthening the effective operating phase;
- have solutions that will make it as easy as possible to correct problem areas, wherever they may be, and to carry out the update as quickly as possible.

So, regardless of the type of building, its location, its size and the time characteristics of the building's life cycle Milestones, the challenge for the designers arises: to simplify the operation of the building services and to allow the possibilities for future building's changes.

An analogy, in crude terms, is possible with man and his education. If one expects a person will have to work only in one profile, then it is enough to take a course and adhere to the healthy lifestyle. The employee will be able to cope quite well, with only occasional use of hairdressers and dentists. But this calculation has its limits — job profile and health [6]. If one imagines in advance that both are impermanent quantities, the concept of education must be changed. A person has to prepare for more universal tasks than those described in the profile. And at the moment when the situation changes, man will quite easily be able to slightly change his usual circle of duties (to become not a baker, but a cook, to switch from a locksmith's position to a carpenter's one). It is certainly not a question of going from being a turner to being a surgeon. But the idea of a hypothetical change in a job profile, as time passes, is intrinsic to people. And it is naturally enriched by thinking about it holistically, taking age and health into account. The principle of greater job certainty with a more versatile education is reflected in people's willingness to get the higher education. The analogy with human education is shown to illustrate a basic idea about the building. This thought is as follows (again, paired with the example-analogy):

- at the design stage: to lay down the possibility of changing the functional profile (in childhood, assume a spectrum of professions, not just one position);
- at the construction stage: to use solutions with more advanced characteristics than minimally necessary [7] (study at a university that is slightly more expensive than taking cheap courses in the same profile);
- in the functioning phase: regular monitoring the condition of the main and secondary structural elements [8] (keep your health up to date and have regular medical check-ups);
- at the stage of necessity (a Milestone in the life cycle) to react to any change in the functional profile: to be able to make changes without significant impact on the environment [9] (to move from one position to

another without retraining and without sessions with a psychotherapist).

Considering these tasks, the building will be in demand longer, the life cycle will not be with a single sine wave period (according to Fig. 1), but with several ones. And overall, the building will be closer to the principles of sustainable development [10] (and the person in this example will work longer and have a more interesting life).

Obviously, it is unlikely to raise a universal worker who would be good at both medical profile and locksmithing. There may be exceptions, but one can't count on it. This means that the building cannot be expected to be radically changed in the shortest possible time and at the lowest possible cost. However, it is still possible to talk about feasible measures to change the operating profile. The simpler these changes are, the more economical they are and the better for the life of the building.

It is impossible to use eternal materials and perfect spatial solutions at building construction though there are some techniques for life span calculation of basic constructions³. Although the stone is more durable than wood, it is ridiculous to advocate its use everywhere. It should be more expensive, more complicated and in some cases simply absurd, such as the use of a stone door. Almost any material has a limited resource, and yet there is a chemical and physical possibility to extend this resource (impregnating of timber surfaces, replacing glass). Here comes the point of possibility, the accessibility of this maintenance operation. The best solution would be to have access to everything: from outside of the building to the place, within the building and to any of the structure plies. Is it possible? Obviously not. Moreover, a number of processes taking place in the building may block the possibility of carrying out maintenance operations, e.g. an hours-long surgery or a gala reception will not allow for simultaneous inspection and impregnation of the structure. It should also be stated that not all solutions are suitable in buildings of historical and cultural value [11].

And at a time (the Milestone for a building) when some changes need to be made, some of them are relatively simple, others are economically unaffordable [12]. Simple changes, such as replacing a door and process equipment, or removing a partition, are feasible and do not require much. For this example — a passageway, a lift or a ladder, the ability to secure the dismantling area is necessary. If the complexity of the change grows, the number of requirements increases. An example to that, the need for a drainage ladder entails, in addition to protecting the work area, a change in the floor structure and possibly in the structural design of the building (if the slab must be lowered locally), and an obligatory connection to the drainage piping system. If the task is more difficult, such as wid-

³ Methodical guide for assigning the service life of concrete and reinforced concrete structures taking into account the impact of the operating environment on their life cycle. Moscow, 2019; 122.

ening a flight of stairs wedged between walls, a large part of the building will have to be demolished and rebuilt. This is a very serious operation, akin to organ transplantation in the case of a human being. Such a Milestone is remembered for a lifetime, and it is unlikely that any of us would dream of encountering it intentionally. Nevertheless, if it is required for building work processes, it has to be done. Computer programmes undoubtedly help to optimize decision-making processes [13], but in general, they are extremely costly operations. The considerations described above lead us to think about the economic feasibility of certain changes. Replacing a door and extending a flight of stairs by moving a wall are changes of the different scales. The only thing they have in common is that they need to be justified by the certainty of continued suitability. These tactical measures, whatever their scale, should be consistent with the strategic plans for the efficient operation of the building as a whole. In Slovakia, the mill building has undergone a very significant renovation and is now a residential one. The positive effect of this change on the life of the building has been calculated [14]. It is undoubtedly one of the few Milestones in the life of the building.

The scale of changes varies. Already at the beginning of the 20th century, technology emerged to move buildings entirely⁴, since these buildings were needed as volumes and functional units, although, not in their original places. Expensive relocations are also Milestones, and very large ones, indeed. But they are still unique. Far more often we have to deal with ordinary changes, such as a leaky pipe, a broken part, a replacement of a piece of equipment with a more suitable one,

the installation of a new engineering system (for example, a “smart home”⁵ or central vacuum system⁶). Fifty years ago, such systems were not invented, but now, some users think about their installation even in old buildings. Occasionally, economic calculations show that the tactical costs of change are outweighed by the strategic benefits. That’s when changes are made to the building (Fig. 2).

So, it’s impossible to foresee everything in advance, and we have to live with it. But how can we simplify or at least predict problems, reduce time and economic costs, and lengthen time intervals between milestones? In the digital world this is dealt with by detailed risk and accidental loss prevention [15], in real construction this problem is still relevant.

To answer this question, the author has used a set of empirical and theoretical research methods over several years. Numerous sources of information have been studied, mainly for buildings with a frequently changing functional profile (R&D buildings for innovations). Their analysis and comparison of the information is presented in a monograph back in 2012^{7,8}. The observation of public and residential buildings shows similar problems, the frequency and scale of change differs in their case. Analogy and abstraction, also as working methods, have already been presented in the article.

RESULTS OF A RESEARCH

Architectural techniques

There are few of techniques in the architect’s scope to help with this task.

Technique 1. Understanding that not everything is going to work the way it is supposed to work now.

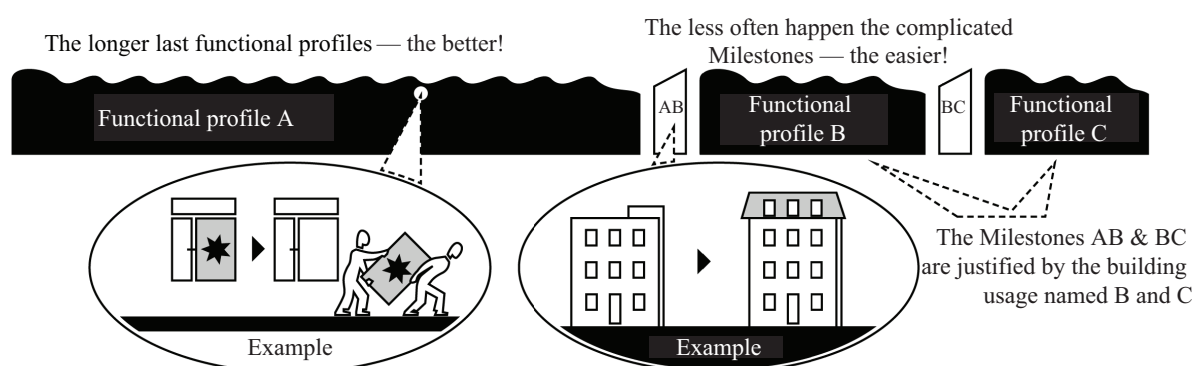


Fig. 2. Examples of the scale of changes in buildings are shown. The feasibility in Milestones, as well as in small changes, depends on the subsequent use phases, their duration and usefulness

⁴ Ostrovsky I.S. *Method of buildings moving*. USSR Patent No. 54365, class 37e.12 on application No. 184967 of January 20, 1936. URL: <https://patentdb.ru/image/101359> (accessed April 12, 2023). (rus.).

⁵ O'Brien J. *Top 10 Smart home appliances in 2022*. URL: <https://houseintegrals.com/top-10-smart-home-appliances-in-2022> (accessed January 9, 2023).

⁶ Salvatore Buda. *Built-in vacuum system*. Patent WO 1998032363 A2 dated July 30, 1998 in the class A47L5/38. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/5a/63/a4/859f3c8f9291c3/WO1998032363A2.pdf> (accessed April 16, 2023).

⁷ Dianova-Klokov I.V., Metanyev D.A., Khrustalev D.A. *Innovative research and production complexes. Issues of architectural design*. Moscow, Published by URSS (Lenand LLC), 2012; 186.

⁸ Dianova-Klokov I.V., Metanyev D.A., Khrustalev D.A. *Architectural design of innovative R&D complexes. Global practice review*. Moscow, Published by URSS (Lenand LLC), 2012; 367.

This approach leads to the idea of designing for possible changes.

Always at the design stage the architect and client service draw up an adequate design brief. It is intended to reflect the demands of the day, the objectives of the first sine waves (Functional profile A, according to Fig. 1 and 2). The architect has to assume that there will also be next phase — Functional profile B, and a Milestone AB. For example, such a change with space transformation in the Athens apartment is described in 2017 [16]. Or another example, from the author's experience: making it possible to install a drainage ladder at the design stage is much easier than carrying out a major renovation when forced to do so by numerous leaks and the associated hassles from the insurance companies. Installing a revision hatch, and arranging a small margin of space to allow repairs to the equipment being installed, is a lot easier than breaking in neatly finished surfaces. A good example of this Technique 1 — pipes embedded within the walls of mid-20th century USSR's residential buildings. They were deteriorated over time (clogged or rusted over 50 years of operation) and during the repair of buildings, renovation designers had to exclude these pipes from work and make duplicates, already in the space of premises. As a result, we see both overspending of steel and multiple repairs. In general, the conclusion was a return to a simpler, more utilitarian solution of placing pipes with the possibility of replacing them⁹.

The Technique 1 actively operates with the features: Repairability and Accessibility, passively used the feature: Aesthetics.

Technique 2. The use of redundant solutions in areas where further changes are impossible or difficult.

This includes the use of stronger structural solutions [17], from the quality of the materials used and the spatial design of the building to taking into account seismic stability requirements [18]. Also, redundant spaces are very suitable for the possibility of new utility ducts and pipelines. Geometric redundancy would show benefits if the stairwells were large enough to accommodate a lift within their boundaries — such a solution would greatly simplify the elevator placement. An external lift in originally lift-free residential buildings is a good solution, but its use by people in wheelchairs is not feasible. Space saving on common areas is still relevant today. Though, caring for people with mobility impairments¹⁰ has become much more important in Russia¹¹ and abroad in the last 25–30 years [19] and were adopted at legislative level.

This Technique 2 actively operates with the features: Reliability and Redundancy.

Technique 3. Use of repairable solutions with accessibility.

Numerous wiring accidents when trying to hang a shelf on the wall unequivocally show that concealed solutions are only good as long as there are no other problems. Repairing an electrical installation which is embedded in the floor structure is considerably more difficult than if it is wired in a duct in the baseboard area. There are intermediate solutions — running the wiring under the ceiling and only running it down to the points of use as required. If we'll switch away from structural engineering and concentrate solely on architectural solutions — the use of modular furniture, mobile partitions, localization of technical services in corridors and dedicated floors — these architectural solutions maximize maintenance and repair capabilities [20].

This Technique 3 actively operates with the features: Repairability and Accessibility, passively used the feature: Reliability.

Technique 4. Identify critical areas where changes are undesirable and keep them unchanged where possible.

The example of an inspection hatch is the simplest possible. It is placed in the equipment area precisely to enable inspections and work specified in the technical regulations to be carried out. If this manhole does not exist, the problem would have been noted in Technique 1. But if there is one, the following peculiarity is observed: the presence of a hatch implies that there is also a work area by this hatch. And the less interference there is with this work area, the easier it is. So, if there is an access hatch in the office floor, the option of placing a partition over it is the most unreasonable solution; the option of placing furniture obstructing it is also a problem (the minor one), as an employee needs to move furniture and slow down some office processes; also in the passage area, the presence of the hatch can prevent people from doing their job. The best option is to provide a hatch with a working area in an uncluttered area that is rarely used; this might be a dead-end part or an extension of the aisle between workstations [21].

This Technique 4 actively operates with the features: Redundancy and Usability, passively used the feature: Aesthetics.

Each of these examples shows that there are solutions. And these solutions vary in terms of convenience, efficiency, economics, and complexity. If considered holistically, any of these problems can be evaluated according to the following indicators.

Decision evaluation

Consider the main categories for proposed evaluating solutions in the Table 1.

⁹ Code of Regulations 510.1325800.2022. Heat Supply Stations and Internal Heat Supply Systems, Ministry of Construction of Russia. Part. 16.5. 2022.

¹⁰ Code of Regulations 59.13330.2020. Accessibility of Buildings and Structures for Low Mobility Groups of Population. Revised edition of SNiP 35-01–2001. Moscow, Ministry of Construction of Russia, 2020; 69.

¹¹ Federal Law No. 52-FZ. About sanitary and epidemiological well-being of population. Issued March 30, 1999.

Table 1. Main categories for evaluation

Category	Description	Comment
Reliability	Durability of the solution	The decision itself
Redundancy	The ability to accommodate an additional task in perspective	
Repairability	The ability to be recovered from failure or damage	
Accessibility	The possibility of unhindered use	Considering the decision and the surroundings
Usability	Livability of the solution	
Aesthetics	The organicity of the solution	

For a rough estimate, it is sufficient to use figures corresponding to these likely (or already implemented) solutions:

- 1. Extremely difficult or unique solution.
- 2. Problematic solution.
- 3. A difficult but possible solution.
- 4. The solution is not difficult.
- 5. Excellent solution, with no difficulties.

Unrealistic solutions are out of the field. Since this text deals with relatively frequent changes and their solutions, so unreal (and even unique) ones, as moving the whole building, are left out of the brackets. It is most convenient to use the estimator in the format of a Radar-type diagram (Fig. 3) combined with a Line Chart [22].

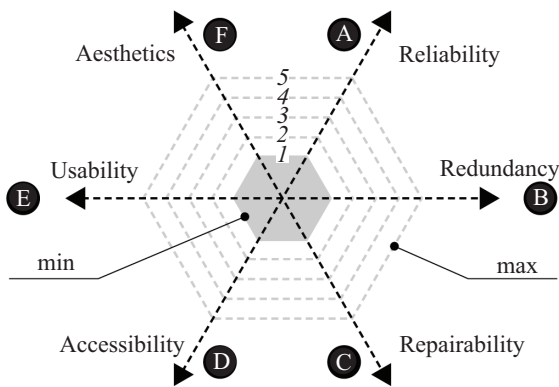


Fig. 3. Main evaluation diagram

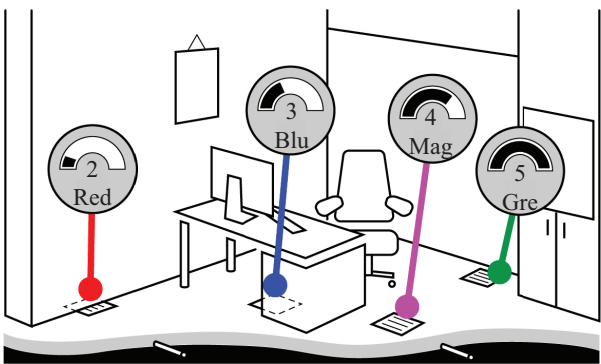
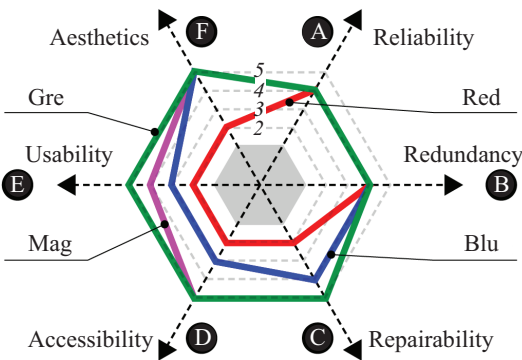


Fig. 4. Evaluation diagram for the solution with a hatch in the office space. The red line shows the variant with the hatch under the partition. The blue line is the solution in the furniture area. Magenta line — hatch in the free access, but on the passageway. Green line — hatch in a dead end

The smaller the figure, the greater the complexity of the corresponding vector of consideration. As the result, the bigger and more correct the star (or figure) is, the better or easier is the solution in general.

Case study 1

A hatch in the floor of an office building. The diagram in Fig. 4 represent abstract options for the location of the hatch in the room (as a continuation of Technique 4).

1. Category A “Reliability”. The reliability of the solution does not depend on the manhole location in general, but there is no engineering preference data — all options get the same score (“Ared”=“Ablu”=“Amag”=“Agre”=4).

2. Category B “Redundancy”. The explanation is identical, with the description in category A, (“Bred”=“Bblu”=“Bmag”=“Bgre”=4).

3. Category C “Repairability”. With the presence of a wall, repairability is poor (“Cred”=2), if the hatch is obstructed by furniture, the solution is not too difficult (“Cblu”=4). The best options are Magenta and Green, they are the most repairable and get the highest rating of 5.

4. Category D “Accessibility”. Under a wall accessibility is poor (“Dred”=2), if the hatch is obstructed by furniture – the solution is not too difficult (“Dblu”=3). The best options are again Magenta and Green. They have direct access for repairs, their grade is 5.

5. Category E “Convenience”. Ease of use of the part of the hatch out of the wall is questionable, or difficult, the index “Ered” take equal to 2. If the hatch is obstruct-

ed by furniture — the solution is not very convenient, because one has to move the furniture (“Eblu”=3), and in the Magenta option a worker will block the passage for office employees (“Emag”=4). The best option is Green, it is the most comfortable to renovate, since it does not disturb anyone, it gets the highest grade (“Egre”=5).

6. Category F “Aesthetics”. Without the hatch or with its part showing from under the wall, the aesthetics are perfect until the wall and floor are opened, at that time the score surely drops dramatically (“Fred”=2). If the hatch is obstructed by furniture, the solution is almost aesthetically perfect (“Fblu”=5). Both options, Magenta and Green, are also optimal (“Fmag”=“Fgre”=5), if the hatch design is chosen appropriately.

Result: In the Fig. 4 diagram it is shown a noticeable difference between the shapes of different colours. The Green figure is clearly larger and more harmonious than the others. Each of the solutions gain a score: Red — 2, Blue — 3, Magenta — 4, Green — 5. It is obvious from the numbers and the line diagrams that the Green option is preferable.

Case study 2

The presence of a technical shaft in the laboratory room is taken, as it is in an example — in University of Newcastle (Australia) [23]. The diagram in Fig. 5 represents the Red option with no shaft; with a shaft arranged for the current technological task (Blue option) and a slightly larger one, with a reserved space “just in case” (Green option).

1. Category A “Reliability”. Reliability of solutions for all options is generally close, there is no evidence of a preference in terms of engineering. And yet, the compact Blue option is more complex in terms of design, and this reduces its reliability score (“Ared”=“Agre”=4; “Ablu”=3).

2. Category B “Redundancy”. The stockpile in the absence of a shaft is colossal (“Bred”=5). By convention, the Blue option’s shaft has no stockpile (“Bblu”=2). The shaft of the Green option is more spacious (“Bgre”=4).

3. Category C “Repairability”. Repairing something in the absence of a shaft is very easy (“Cred”=5). In the presence of a tight shaft, on the contrary, difficult (“Cblu”=2). The Green option with a dense shaft is repairable and gets the highest rating — 5.

4. Category D “Accessibility”. Without the shaft, accessibility is ideal, as is the category Repairability (“Dred”=5). The Blue option has everything arranged tightly inside the shaft. Its accessibility is low (“Dblu”=2). The Green task, though limitations within the shaft, has a potential, its accessibility rate is medium (“Dgre”=4).

5. Category E “Convenience”. The convenience of using the laboratory, with various communications interfering everywhere, is not at a high level. Thus, we take the “Ered” indicator to be 2. The compact shaft is the most convenient, but only at the moment of ordinal work, and in the maintenance mode it loses slightly (“Eblu”=4). The best option is Green, it is the most convenient to repair and gets the highest rating (“Egre”=5).

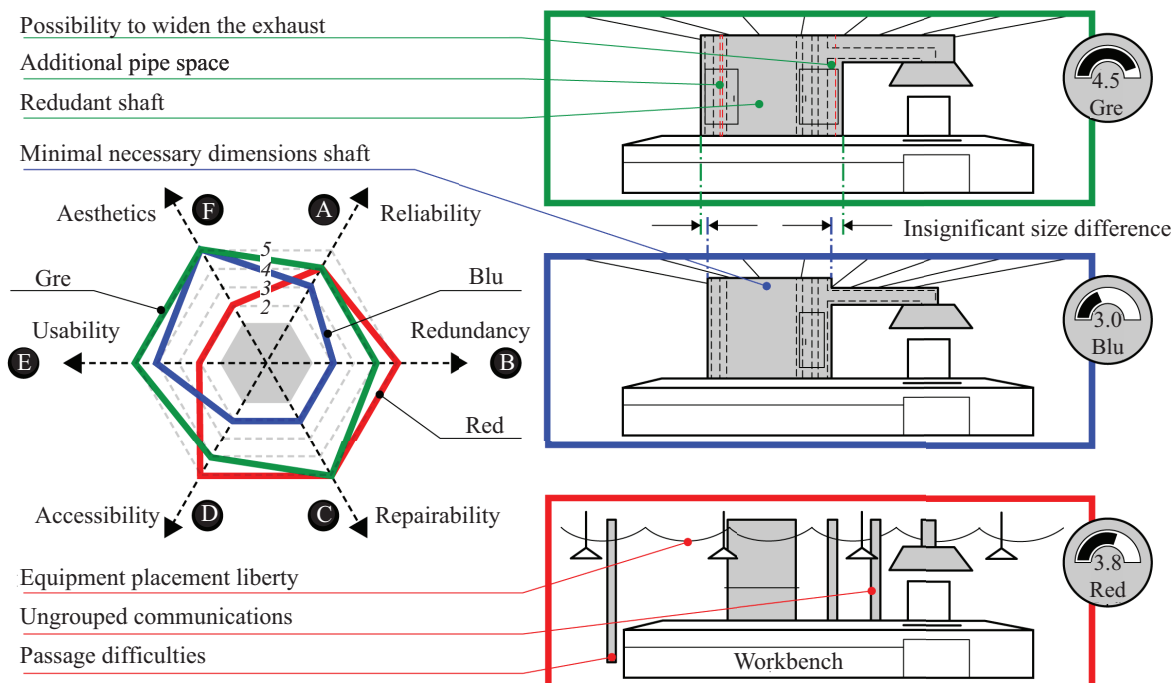


Fig. 5. Diagram of evaluation of the solution with a mine in the lab. The red line shows the variant with no sump, all communications being freely placed. The blue line is solution with compact shaft. The green line is with a shaft, calculated with reserve for changes

6. Category F “Aesthetics”. Without the shaft, the aesthetics with free-standing engineering are more than questionable (“Fred”=2). Both options with shafts are almost identical in terms of aesthetics, and receive the highest score (“Fblu”=“Fgre”=5).

The result is in the Diagram (see Fig. 5). The difference between the shapes is noticeable and the green figure is again bigger than the others. It is also better balanced. Results calculation is as follows:

- Green variant: $(4+4+5+4+5+5)/6 = 27/6 = 4.5$ points;

- Blue variant: $(3+2+2+2+4+5)/6 = 18/6 = 3.0$ points;

- Red variant: $(4+5+5+5+2+2)/6 = 23/6 = \sim 3.8$ points.

From the figures and the line diagrams in this example we can see that the Green option is preferable in terms of operation and future changes.

The way shown is very clear. Here it represents one of the many points of the room only, but it gets the point across. What is it good for? An example of its usage can be applied for analyzing real estate for renting or buying purposes. Not every person working in these fields can easily read drawings, much less find vulnerabilities in the layout of the premises [24]. It is clearer to see a figure and a diagram defining the simplicity of possible changes.

CONCLUSION AND DISCUSSION

Sooner or later, buildings (or parts of a building) need changes to better suit the tasks relevant at the time. An architect can't predict all of these changes. But it is

quite possible to realize that just now accepted solutions will have to be modified in a future. Moreover, it is possible to evaluate the already made decisions in order to inform people who are not very familiar with the drawings and the essence of architectural and planning decisions. The presented article shows the principle of evaluation using simplified examples. For a more detailed estimation apparatus, some mathematical formulas with data sets should be used.

The continuation of the work so far can be seen as a comprehensive consideration of the problems from the perspective of each of the parties involved in the building's changes. These parties are at least as follows: the building owner, the user of the space (e.g. office tenant), the maintenance employee and the contractor. The compilation of classification signs of implementation problems in the respective points, maintainability of materials and the measures of solution versatility are also important. All in all, the evaluation apparatus, produces a very simple output — a figure or a digit. That is the goal. But for the transparency of the solution and the fairness of the evaluation, the formulas for working with this data set must be carefully and worked out in details. An analogy is appropriate here with the television set that almost everyone has at home: the user only needs to watch a movie (a reference to the digital building score), no matter how sophisticated the unit itself and its media player are (a reference to mathematical formulas involving a number of parameters on building attributes). The television has become a familiar part of our everyday life, and it is possible that the readiness assessment will be used in the not-too-distant future for buying or renting property.

REFERENCES

1. Khurstalev D.A. Short-term rental buildings as part of innovation complexes. *Science, Education and Experimental Design. Proceedings of the MARCHI Scientific Conference. Collected Articles*. Moscow. 2010; 165-167. (rus.).
2. Choi J., Kim J. Techno-economic feasibility study for deep renovation of old apartment. *Journal of Cleaner Production*. 2023; 382:135396. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.135396 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622049708> (accessed April 12, 2023).
3. Danyaeva L.N. Architectural and typological classification in the reconstruction of civil buildings. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2020; 3(55):120-126. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43970416> (accessed April 15, 2023) (rus.).
4. Su X., Ma Y., Wang L., Guo Z., Zhang J. Fatigue life prediction for prestressed concrete beams under corrosion deterioration process. *Structures*. 2022; 43:1704-1715. DOI: 10.1016/j.istruc.2022.07.043 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235201242200604X> (accessed 18 April 2023).
5. Scheiber S., Lautz R. Innovations and sustainable solutions: basis of an office building utility systems design. *AVOC: ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermophysics*. 2021; 8:54-72. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47263746> (accessed April 2, 2023) (rus.).
6. Zong W., Zhang J., Yang X. Building a life-course intertemporal discrete choice model to analyze migration biographies. *Journal of Choice Modelling*. 2023; 47:100410. DOI: 10.1016/j.jocm.2023.100410 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755534523000118> (accessed April 14, 2023).
7. Topchiy D.V. Managerial and engineering solutions made to ensure the quality of construction and installation work at various stages of the life cycle of a construction facility. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2023; 18(2):283-292. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.2.283-292 (rus.).

8. Amoruso F.M., Schütze T. Life cycle assessment and costing of carbon neutral hybrid-timber building renovation systems: Three applications in the Republic of Korea. *Building and Environment*. 2022; 222:109395. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109395 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013232200628X> (accessed April 14, 2023).
9. Moyano J., Carreño E., Nieto-Julián J.E., Gil-Arizón I., Bruno S. Systematic approach to generate Historical Building Information Modelling (HBIM) in architectural restoration project. *Automation in Construction*. 2022; 143:104551. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104551 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580522004216> (accessed April 13, 2023).
10. Khrustalev D.A. Techniques and methods for compliance with the principles of sustainable architecture of student projects on the topics of architectural design in MARCHI. *Science, Education and Experimental Design. Theses of reports of the scientific-practical conference of faculty, young scientists and students*. Moscow, MARCHI, 2022; 1:533-534. (rus.).
11. Zhou W., Song S., Feng K. The sustainability cycle of historic houses and cultural memory: Controversy between historic preservation and heritage conservation. *Frontiers of Architectural Research*. 2022; 11(6):1030-1046. DOI: 10.1016/j.foar.2022.04.006 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263522000450> (accessed April 10, 2023).
12. Dianova-Klokoval I.V., Metanyev D.A., Khrustalev D.A. On the issue of innovative space transformation of the industrial architecture monuments. *System Technologies*. 2021; 1(38):167-179. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45589802> (rus.).
13. Jiang S., Wang M., Ma L. Gaps and requirements for applying automatic architectural design to building renovation. *Automation in Construction*. 2023; 147:104742. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.104742 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658052300002X> (accessed April 6, 2023).
14. Sedláková A., Vilčeková S., Burák D., Tomková Ž., Moňoková A., Doroudiani S. Environmental impacts assessment for conversion of an old mill building into a modern apartment building through reconstruction. *Building and Environment*. 2020; 172:106734. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.106734 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132320300925> (accessed April 14, 2023).
15. Pei P., Zhou T. One-step look-ahead policy for active learning reliability analysis. *Reliability Engineering & System Safety*. 2023; 236:109312. DOI: 10.1016/j.ress.2023.109312 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832023002260> (accessed April 12, 2023).
16. Synnefa A., Vasilakopoulou K., De Masi R.F., Kyriakodis G.-E., Londerfos V., Mastrapostoli E. et al. Transformation through renovation: An energy efficient retrofit of an apartment building in Athens. *Procedia Engineering*. 2017; 180:1003-1014. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.260 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705817317678> (accessed April 14, 2023).
17. Beck A.T. Optimal design of redundant structural systems: fundamentals. *Engineering Structures*. 2020; 219:110542. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110542 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029619343779> (accessed April 14, 2023).
18. Alam Z., Sun L., Zhang Noroozinejad Farsangi E. Global performance of multi-story stiffness-eccentric RC structures subjected to progressive seismic excitations: Shaking table investigations. *Journal of Building Engineering*. 2023; 64:105582. DOI: 10.1016/j.jobbe.2022.105582 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710222015881> (accessed April 12, 2023).
19. Duffy C.A. *Home evaluation and modifications. Stroke rehabilitation (4th Edition). Chapter 31*. Mosby. 2016; 710-731. DOI: 10.1016/B978-0-323-17281-3.00031-9 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323172813000319> (accessed April 9, 2023).
20. Dianova-Klokoval I.V., Metanyev D.A., Khrustalev D.A. On the stability of architectural solutions of science and innovation objects. *System Technologies — scientific and practical journal*. Makhachkala. 2020; 1(34):100-105. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42700382> (rus.).
21. Khrustalev D.A. Reserving space for the development of engineering support systems of scientific and production buildings with innovative activities. *International Research Journal*. Ekaterinburg, 2016; 5(47):2:127-128. DOI: 10.18454/IRJ.2016.47.063.127-128 URL: <http://research-journal.org/wp-content/uploads/2011/10/5-2-47-.pdf> (rus.).
22. Kolokolov A. Make the data talk. How to make a business dashboard in Excel. A guide to the data visualization. *Institute of Business Analytics*. Moscow, Alpina-Pro Publ., 2023. URL: https://alexkolokolov.com/ru/blog/case_data_visualisation_kpi_radar (accessed April 3, 2023) (rus.).
23. Griffin B. *Laboratory Design Guide (3rd Ed.)*. London, Routledge, 2004; 167-171. DOI: 10.4324/97800-80496023
24. Woodward J.F. Project management education — levels of understanding and misunderstanding. *International Journal of Project Management*. 1983; 1(3):173-178. DOI: 10.1016/0263-7863(83)90024-8 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0263786383900248> (accessed April 13, 2023).

Received May 3, 2023.

Adopted in revised form on May 31, 2023.

Approved for publication on July 7, 2023.

B I O N O T E S : **Dmitry A. Khurstalev** — Candidate of Architecture, Associate Professor of the Department of Industrial Architecture; **Moscow Institute of Architecture (State Academy) (MARKHI)**; bldg. 2, 11 Rozhdestvenka st., Moscow, 107031, Russian Federation; ID RSCI: 1047601, ORCID: 0000-0002-0515-0927, ResearcherID: HTN-1958-2023; promgettista@yandex.ru.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хрусталеv Д.А. Здания для краткосрочной аренды в составе инновационных комплексов // Наука, образование и экспериментальное проектирование : мат. науч.-практ. конф., сб. ст. М. : МАРХИ, 2010. С. 165–167.
2. Choi J., Kim J. Techno-economic feasibility study for deep renovation of old apartment // Journal of Cleaner Production. 2023. Vol. 382. P. 135396. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.135396 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959-652622049708> (дата обращения: 12.04.2023).
3. Даняева Л.Н. Архитектурно-типологическая классификация в реконструкции гражданских зданий // Приволжский научный журнал. 2020. № 3 (55). С. 120–126. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43970416> (дата обращения: 15.04.2023).
4. Su X., Ma Y., Wang L., Guo Z., Zhang J. Fatigue life prediction for prestressed concrete beams under corrosion deterioration process // Structures. 2022. Vol. 43. Pp. 1704–1715. DOI: 10.1016/j.istruc.2022.07.043 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235201242200604X> (дата обращения: 18.04.2023).
5. Шайбер Ш., Лауц Р. Инновации и устойчивые решения: основа проекта инженерных систем офисного здания // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2021. № 8. С. 54–72. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47263746> (дата обращения: 02.04.2023).
6. Zong W., Zhang J., Yang X. Building a life-course intertemporal discrete choice model to analyze migration biographies // Journal of Choice Modelling. 2023. Vol. 47. P. 100410. DOI: 10.1016/j.jocm.2023.100410 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755534523000118> (дата обращения: 14.04.2023).
7. Тончий Д.В. Организационно-технические решения по обеспечению качества строительно-монтажных работ на различных этапах жизненного цикла объекта строительства // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 2. С. 283–292. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.2.283-292
8. Amoroso F.M., Schütze T. Life cycle assessment and costing of carbon neutral hybrid-timber building renovation systems: Three applications in the Republic of Korea // Building and Environment. 2022. Vol. 222. P. 109395. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109395 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013232200628X> (дата обращения: 14.04.2023).
9. Moyano J., Carreño E., Nieto-Julán J.E., Gil-Arizón I., Bruno S. Systematic approach to generate Historical Building Information Modelling (HBIM) in architectural restoration project // Automation in Construction. 2022. Vol. 143. P. 104551. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104551 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580522004216> (дата обращения: 13.04.2023).
10. Хрусталеv Д.А. Приемы и способы для соответствия принципам устойчивой архитектуры студенческих проектов по темам архитектурного проектирования в МАРХИ // Наука, образование и экспериментальное проектирование : тез. докл. науч.-практ. конф. проф.-преп. сост., мол. уч. и студ. М. : МАРХИ, 2022. Т. 1. С. 533–534.
11. Zhou W., Song S., Feng K. The sustainability cycle of historic houses and cultural memory: Controversy between historic preservation and heritage conservation // Frontiers of Architectural Research. 2022. Vol. 11. Issue 6. Pp. 1030–1046. DOI: 10.1016/j.foar.2022.04.006 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263522000450> (дата обращения: 10.04.2023).
12. Дианова-Клокова И.В., Метаньев Д.А., Хрусталеv Д.А. К вопросу об инновационном преобразовании пространства памятников индустриальной архитектуры // Системные технологии. 2021. Т. 1(38). С. 167–179. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45589802> (дата обращения: 13.04.2023).
13. Jiang S., Wang M., Ma L. Gaps and requirements for applying automatic architectural design to building renovation // Automation in Construction. 2023. Vol. 147. P. 104742. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.104742 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658052300002X> (дата обращения: 06.04.2023).
14. Sedláková A., Vilčeková S., Burák D., Tomková Ž., Moňoková A., Doroudiani S. Environmental impacts assessment for conversion of an old mill building into a modern apartment building through reconstruction // Building and Environment. 2020. Vol. 172. P. 106734. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.106734 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132320300925> (дата обращения: 14.04.2023).

15. *Pei P., Zhou T.* One-step look-ahead policy for active learning reliability analysis // *Reliability Engineering & System Safety*. 2023. Vol. 236. P. 109312. DOI: 10.1016/j.ress.2023.109312 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832023002260> (дата обращения: 12.04.2023).

16. *Synnefa A., Vasilakopoulou K., De Masi R.F., Kyriakodis G.-E., Londorfos V., Mastrapostoli E. et al.* Transformation through renovation: An energy efficient retrofit of an apartment building in Athens // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 180. Pp. 1003–1014. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.260 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817317678> (дата обращения: 14.04.2023).

17. *Beck A.T.* Optimal design of redundant structural systems: fundamentals // *Engineering Structures*. 2020. Vol. 219. P. 110542. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110542 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029619343779> (дата обращения: 14.04.2023).

18. *Alam Z., Sun L., Zhang Noroozinejad Farsangi E.* Global performance of multi-story stiffness-eccentric RC structures subjected to progressive seismic excitations: Shaking table investigations // *Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 64. P. 105582. DOI: 10.1016/j.job.2022.105582 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710222015881> (дата обращения: 12.04.2023).

19. *Duffy C.A.* Home evaluation and modifications. Stroke rehabilitation (4th ed.). Chapter 31. Mosby. 2016. Pp. 710–731. DOI: 10.1016/B978-0-323-17281-3.00031-9 URL: <https://www.sciencedirect.com/>

[science/article/pii/B9780323172813000319](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323172813000319) (дата обращения: 09.04.2023).

20. *Дианова-Клокова И.В., Метаньев Д.А., Хрусталева Д.А.* Об устойчивости архитектурных решений объектов науки и инноваций // *Системные технологии*. 2020. № 1 (34). С. 100–105. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42700382&>

21. *Хрусталева Д.А.* Резервирование пространства для развития систем инженерного обеспечения научно-производственных зданий с инновационной деятельностью // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. Т. 5 (47). Ч. 2. С. 127–128. DOI: 10.18454/IRJ.2016.47.063.127-128 URL: <http://research-journal.org/wp-content/uploads/2011/10/5-2-47-.pdf>

22. *Колоколов А.* Заставьте данные говорить. Как сделать бизнес-дашборд в Excel. Руководство по визуализации данных // *Институт бизнес-аналитики*. М. : Альпина-Про, 2023. URL: https://alexkolokolov.com/ru/blog/case_data_visualisation_kpi_radar (дата обращения: 03.04.2023).

23. *Griffin B.* Laboratory Design Guide (3rd ed.). London, Routledge, 2004. Pp. 167–171. DOI: 10.4324/9780080496023

24. *Woodward J.F.* Project management education — levels of understanding and misunderstanding // *International Journal of Project Management*. 1983. Vol. 1. Issue 3. Pp. 173–178. DOI: 10.1016/0263-7863(83)90024-8 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0263786383900248> (дата обращения: 13.04.2023).

Поступила в редакцию 3 мая 2023 г.

Принята в доработанном виде 31 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 7 июля 2023 г.

ОБ АВТОРЕ: **Дмитрий Александрович Хрусталева** — кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры промышленных сооружений; **Московский архитектурный институт (государственная академия) (МАРХИ)**; 107031, г. Москва, ул. Рождественка, д. 11, стр. 2; РИНЦ ID: 1047601, ORCID: 0000-0002-0515-0927, ResearcherID: HTN-1958-2023; promgettista@yandex.ru.

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

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.044.2

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1212-1219

Исследование прогибов и частот собственных колебаний круглых изотропных пластин переменной толщины по закону квадратной параболы с утолщением на опоре

Андрей Викторович Турков, Сергей Иванович Полешко

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева (ОГУ им. И.С. Тургенева);

г. Орел, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время в зданиях в качестве несущих элементов применяются в том числе круглые пластины переменной толщины, что вызывает необходимость в их диагностике и оценке качества. Профессор В.И. Коробко выявил взаимосвязь между частотами собственных поперечных колебаний ω и максимальными прогибами W_0 от равномерно распределенной нагрузки для изотропных пластинок постоянной толщины при однородном опирании по контуру. Цель исследования — установить взаимосвязь между максимальным прогибом и частотой собственных поперечных колебаний для пластин переменной по закону квадратной параболы толщины при утолщении к опоре. Исследования проводились методом конечных элементов, опирание по контуру — шарнирное и жесткое защемление.

Материалы и методы. Расчетная конструкция — стальная круглая изотропная пластина переменной по закону квадратной параболы толщины при утолщении к опоре. Исследования проводились методом конечных элементов, опирание по контуру — шарнирное и жесткое защемление.

Результаты. Определены максимальные прогибы и частоты собственных колебаний круглой изотропной пластинки при различном соотношении толщины пластины на опоре t_1 к толщине в центре t_2 . Рассмотрена взаимосвязь максимальных прогибов равномерно распределенной нагрузки W_0 и основной частоты собственных колебаний ω круглой пластины. Построены графики зависимости максимальных прогибов и частот собственных поперечных колебаний пластины от соотношения t_1/t_2 .

Выводы. Установлено, что коэффициент K подчиняется в пределах 5 % зависимости профессора В.И. Коробко только при соотношении толщины на опоре к толщине в центре $t_1/t_2 = 55/50 < 1,1$ для обеих схем опирания. При соотношении толщин $t_1/t_2 = 100/50 = 2$ расхождение коэффициента K с аналитическим составляет около 30 % для шарнирного опирания до 43,8 % при жестком опирании по контуру. Все значения коэффициента K для круглых изотропных пластин переменной по закону квадратной параболы толщины при утолщении на опоре дают завышенные значения коэффициента K по сравнению с теоретическими значениями для шарнирного и жесткого опирания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: круглая пластина, толщина пластины, шарнирное опирание, жесткое опирание, равномерно распределенная нагрузка, сосредоточенные массы, частота собственных поперечных колебаний, максимальный прогиб

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Турков А.В., Полешко С.И. Исследование прогибов и частот собственных колебаний круглых изотропных пластин переменной толщины по закону квадратной параболы с утолщением на опоре // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 8. С. 1212–1219. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1212-1219

Автор, ответственный за переписку: Андрей Викторович Турков, aturkov@bk.ru.

Investigation of deflections and natural vibration frequencies of circular isotropic plates of variable thickness according to the law of square parabola with thickening to the support

Andrey V. Turkov, Sergey I. Poleshko

Orel State University named after I.S. Turgenev (OSU named after I.S. Turgenev); Orel, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. At the present time, round plates of variable thickness are used as load-bearing elements in buildings, which causes the necessity of their diagnostics and quality assessment. Such structures can be used as roofs of vertical cylindrical tanks, round silos and bunkers, hatches in the ceilings of buildings and structures. Professor V.I. Korobko revealed the relationship between the frequencies of their own transverse vibrations ω and maximum deflections W_0 from uniformly

distributed load for isotropic plates of constant thickness at homogeneous support along the contour. The aim of the study is to establish the relationship between the maximum deflection and the frequency of their own transverse vibrations for plates of variable thickness according to the law of square parabola with thickening to the support. Based on the theoretical data obtained, it is possible to diagnose defects (change in the design scheme, destruction, reduction in the thickness of the plate as a result of corrosion, etc.) based on the results of comparison and analysis of theoretical and experimentally measured natural vibration frequencies and (or) maximum deflections in the center of the plate.

Materials and methods. The design structure is a steel round isotropic plate of variable thickness according to the law of square parabola with thickening to the support. The studies were carried out by the finite element method, hinged and rigid pinching.

Results. Maximum deflections and frequencies of natural vibrations of a circular isotropic plate with different ratio of the plate thickness on the support t_1 to the thickness in the center t_2 were determined. The relationship between the maximum deflections of uniformly distributed load W_0 and the fundamental frequency of natural vibrations ω of the circular plate is considered. Based on the results of the study, graphs of dependence of maximum deflections and frequencies of natural transverse vibrations of the plate on the ratio t_1/t_2 are plotted.

Conclusions. As a result of numerical studies, the maximum deflections and the main vibration frequencies for circular isotropic plates of variable thickness according to the square parabola law with thickening to the support were determined. It was established that the K coefficient obeys within 5 % of the dependence of Professor V.I. Korobko only when the ratio of the thickness on the support to the thickness in the center $t_1/t_2 = 55/50 < 1.1$ for both support schemes. This is explained by the fact that the dependence (1) is derived for isotropic plates of constant thickness and the distribution of mass unevenly over the entire area of the plate leads to a significant error already at the stage of small difference between the thicknesses to the support and in the center. With the thickness ratio $t_1/t_2 = 100/50 = 2$, the discrepancy between the K coefficient and the analytical one is about 30 % for hinged support and 43.8 % for rigid support along the contour. This means a more significant influence of the uneven mass distribution for such homogeneous boundary conditions. It is also revealed that all values of the K coefficient for circular isotropic plates of variable thickness according to the law of the square parabola with thickening to the support give overestimated values of the K coefficient in comparison with theoretical values for hinged and rigid support.

KEYWORDS: round plate, plate thickness, hinged support, rigid support, uniformly distributed load, concentrated masses, transverse natural frequency, maximum deflection

FOR CITATION: Turkov A.V., Poleshko S.I. Investigation of deflections and natural vibration frequencies of circular isotropic plates of variable thickness according to the law of square parabola with thickening to the support. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1212-1219. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1212-1219 (rus.).

Corresponding author: Andrey V. Turkov, aturkov@bk.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Пластины достаточно широко применяются в строительстве, а также в таких областях машиностроения, как судостроение, станкостроение, авиационная отрасль и т.п. Пластины работают на различные виды нагрузок — статические и динамические, а условия закрепления по внешнему контуру могут быть различные, в том числе и неоднородные. В связи с этим возникает необходимость в их диагностике и оценке качества.

Профессор В.И. Коробко установил взаимосвязь между частотами собственных поперечных колебаний ω и максимальными прогибами W_0 от равномерно распределенной нагрузки для изотропных пластинок постоянной толщины при однородном опирании по контуру [1], согласно которой вне зависимости от граничных условий пластины по контуру произведение квадрата основной частоты колебаний в ненагруженном состоянии ω на максимальный прогиб W_0 от действия равномерно распределенной нагрузки q с точностью до множителя q/m является постоянной величиной:

$$W_0 \cdot \omega^2 = K \frac{q}{m}, \quad (1)$$

где m — масса пластины, равномерно распределенная по ее площади.

Оценке жесткости изотропных пластин при статических и динамических нагрузках посвящено боль-

шое количество работ ученых [1–3]. Взаимосвязь максимальных прогибов и частот собственных поперечных колебаний составных и сплошных пластинок изучали В.И. Коробко и О.В. Бояркина (Калашникова) [4–6], А.В. Турков, К.А. Жупкина (Иванушкина) [7], К.В. Марфин [8], Н.С. Абашина [9], К. Pisačić и соавт. [10] и др. Вопросы устойчивости пластин рассматривали И.Р. Садигов [11], Р.В. Гольдштейн и соавт. [12]. Динамическими расчетами пластин в последнее время занимались И.А. Судакова и соавт. [13], Дж.Г. Агаларов и Г.А. Мамедова [14], расчетами пластин в нелинейной постановке — Р.Ф. Габбасов, Н.Б. Уварова [15, 16], исследованиями пластин численными методами — П.А. Акимов и соавт. [17], В. Kövesdi [18], V. Nadolski и соавт. [19] и другие авторы [20]. Чтобы подтвердить закономерность (1) для пластин переменной толщины по закону квадратной параболы с утолщением на опоре были проведены их численные исследования при различном соотношении толщины на опоре t_1 к толщине пластины в центре t_2 , при этом $t_1 \geq t_2$.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Расчетная конструкция — круглая изотропная пластина переменной толщины по закону квадратной параболы с утолщением на опоре (рис. 1).

Толщина пластины описывается выражением:

$$t = 5 + k(R - x)^2, \text{ см.} \quad (2)$$

Табл. 1. Коэффициенты k для определения толщины пластины по формуле (2)
Table 1. Coefficients k for determining the thickness of the plate by the formula (2)

$k \cdot 10^{-5}$	Коэффициент k в выражении (2) при толщине пластины t_2 на опоре, мм Coefficient k in terms of (2) at plate thickness t_2 on the support, mm										
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	0	0,556	1,11	1,67	2,22	2,78	3,33	3,889	4,444	5,00	5,555

Коэффициент k в выражении (2) вычисляется для каждой расчетной толщины на опоре пластины t_1 , значения приведены в табл. 1.

Цель исследования — установить взаимосвязь между максимальным прогибом и частотой собственных поперечных колебаний для пластин переменной по закону квадратной параболы толщины при утолщении на опоре.

Задачи исследования:

- 1. Разработать для расчетной пластины переменной толщины конечно-элементную схему.
- 2. Вычислить максимальные прогибы в центре пластины при действии равномерно распределенной по поверхности конструкции нагрузки при различном соотношении t_1/t_2 и различных краевых условиях.

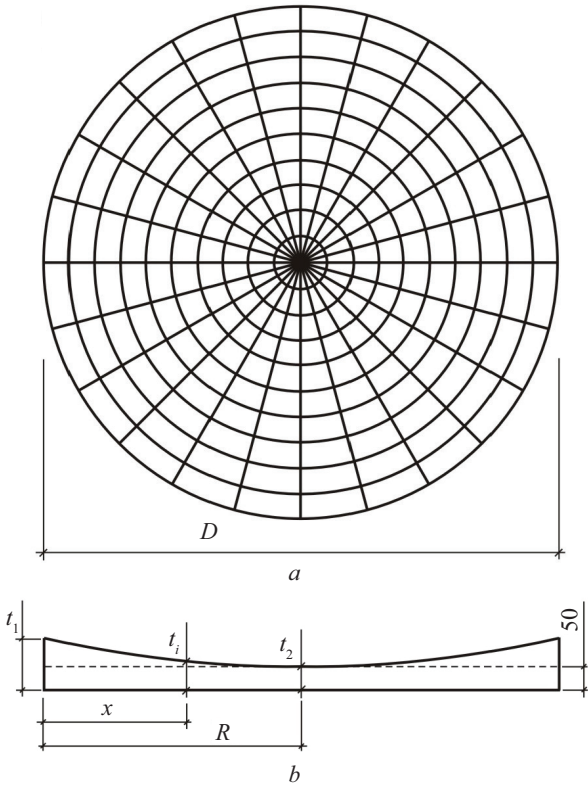


Рис. 1. Круглая пластинка переменной по закону квадратной параболы толщины при утолщении к опоре: a — конечно-элементная схема; b — толщина пластины
Fig. 1. Circular plate of variable thickness by the law of square parabola with thickening to the support: a — finite element scheme; b — plate thickness

- 3. Определить круговые частоты собственных поперечных колебаний пластин при различном соотношении t_1/t_2 и различных краевых условиях.
- 4. Провести анализ полученных результатов.

Исследования пластин выполнялись методом конечных элементов. Расчетные схемы пластинок переменной толщины приведены на рис. 2. При расчете пластин принимались следующие схемы — шарнирное опирание (рис. 2, a) и жесткое защемление по контуру (рис. 2, b).

Пластина диаметром 6 м разбита на 240 конечных элементов — 24 элемента в кольцевом направлении и 10 элементов в радиальном (рис. 1). Толщина пластины в центре принималась постоянной 0,05 м, толщина на опоре являлась переменным параметром и изменялась от 0,05 м (пластина постоянной толщины) до 0,10 м с шагом 0,005 м. Пластина из стали обычного качества, объемный вес стали принимался по нормам 78,5 кН/м³. Модуль упругости стали также взят по нормам СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа. Все расчеты проводились в предположении упругой работы стали.

Равномерно распределенная нагрузка на пластину принималась равной $q = 1$ кН/м². При определении собственных частот колебаний в узлы пластины прикладывались сосредоточенные массы от собственного веса пластины, которые вычислялись согласно грузовой площади соответствующих

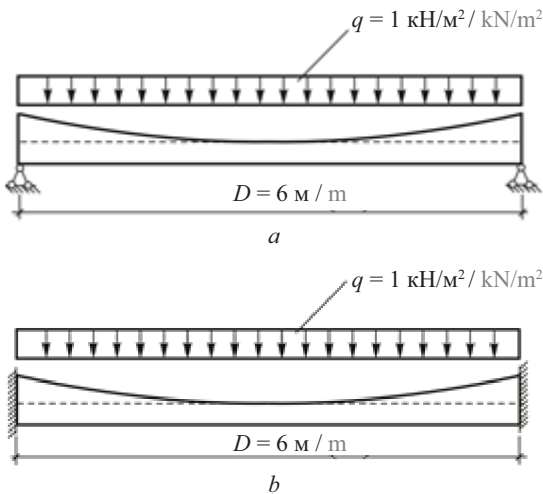


Рис. 2. Расчетные схемы пластин: a — с шарнирным опиранием по контуру; b — с защемлением по контуру
Fig. 2. Calculation schemes of plates: a — with hinge support along the contour; b — with pinching along the contour

узлов. ОпираНИЕ конструкции осуществлялось в контурных узлах пластин. Установление прогибов и частот колебаний выполнялось в программном комплексе SCAD [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты численных исследований пластинки приведены в табл. 2, 3. По данным табл. 2 и 3 построены графики изменения частот колебаний (рис. 3), максимальных прогибов (рис. 4) в исследуемых пластинах и отклонения Δ , %, коэффициента пропорциональности K (рис. 5). Отклонение фактического значения коэффициента K от теоретического $K_{\text{теор}}$ определялось по формуле:

$$\Delta = \frac{K_{\text{теор}} - K}{K_{\text{теор}}} \cdot 100 \%. \tag{3}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате численных исследований определены максимальные прогибы и основные частоты колебаний для круглых изотропных пластин переменной по закону квадратной параболы толщины при утолщении на опоре. Как показали исследования, коэффициент K подчиняется в пределах 5 % зависимости профессора В.И. Коробко только при соотношении толщины на опоре к толщине в центре $t_1/t_2 = 55/50 < 1,1$



Рис. 3. Изменение частот собственных колебаний в зависимости от соотношения толщины пластины t_1 на опоре к толщине t_2 в центре

Fig. 3. Variation of natural oscillation frequencies depending on the ratio of the thickness of the plate t_1 on the support to the thickness t_2 in the center

для обеих схем опирания. Это объясняется тем, что зависимость (1) выведена для изотропных пластин постоянной толщины и распределение массы неравномерно по всей площади пластины приводит к существенной погрешности уже на стадии небольшой разницы между толщинами на опоре и в центре. При соотношении толщин $t_1/t_2 = 100/50 = 2$ расхождение коэффициента K с аналитическим составляет около 30 % при шарнирном опирании и до 43,8 % при жестком опирании по контуру, что свидетельствует о значительно большем влиянии неравномерного распре-

Табл. 2. Результаты численных исследований круглой пластины с переменной по закону квадратной параболы толщины при утолщении на опоре при шарнирном опирании

Table 2. Results of numerical studies of a circular plate with thickness variable according to the law of square parabola with thickening to the support with hinged support

t_1 , мм / mm	t_2 , мм / mm	Круговая частота основного тона ω , с ⁻¹ The circular frequency of the main tone ω , s ⁻¹	Максимальный прогиб W_0 , мм Maximum deflection W_0 , mm	$K = W_0^2/(q/m)$	K на основе теоретических значений W_0 и ω K based on theoretical values W_0 and ω	Отклонение K от по выражению (3) Deviation K to from $K_{\text{теор}}$ in terms of (3)
50	50	42,52237	21,8409	1,581	1,579	–0,11
55	50	44,11425	19,9741	1,633		–3,44
60	50	45,70629	18,3175	1,685		–6,69
65	50	47,32870	16,8212	1,734		–9,84
70	50	48,96650	15,4827	1,783		–12,94
75	50	50,63780	14,2663	1,831		–15,94
80	50	52,32624	13,1725	1,877		–18,90
85	50	54,04877	12,1744	1,923		–21,76
90	50	55,78840	11,2734	1,967		–24,59
95	50	57,56141	10,4485	2,010		–27,33
100	50	59,35058	9,7016	2,053		–30,03

Табл. 3. Результаты численных исследований круглой пластины с переменной по закону квадратной параболы толщины при утолщении на опоре при защемлении по контуру

Table 3. Results of numerical studies of a circular plate with thickness variable according to the square parabola law with thickening to the support when pinching along the contour

t_1 , мм / mm	t_2 , мм / mm	Круговая частота основного тона ω , с ⁻¹ The circular frequency of the main tone ω , s ⁻¹	Максимальный прогиб W_0 , мм Maximum deflection, W_0 , mm	$K = W_0 \omega^2 / (q/m)$	K на основе теоретических значений W_0 и ω K based on theoretical values W_0 and ω	Отклонение K от по выражению (3) Deviation K to from K_{theor} in terms of (3)
50	50	89,80446	5,1396	1,658	1,629	-1,81
55	50	96,00478	4,4623	1,728		-6,08
60	50	102,1698	3,9121	1,798		-10,36
65	50	108,3345	3,4556	1,867		-14,60
70	50	114,4624	3,0759	1,936		-18,84
75	50	120,5893	2,7540	2,004		-23,04
80	50	126,6794	2,4813	2,073		-27,24
85	50	132,7690	2,2461	2,140		-31,40
90	50	138,8224	2,0437	2,208		-35,56
95	50	144,8761	1,8667	2,275		-39,68
100	50	150,8944	1,7125	2,343		-43,81

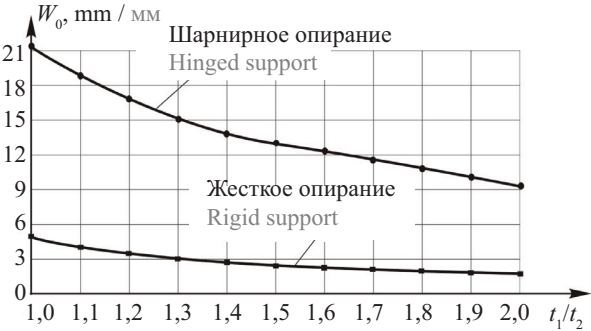


Рис. 4. Изменение прогибов от статической нагрузки в зависимости от соотношения толщины пластины t_1 на опоре к толщине t_2 в центре

Fig. 4. Variation of deflections from static load depending on the ratio of the thickness of the plate t_1 on the support to the thickness t_2 in the center

ления массы пластины для таких граничных условий. Выявлено также, что все значения коэффициента K для круглых изотропных пластин переменной по закону квадратной параболы толщины при утолщении на опоре дают завышенные значения в сравнении с теоретическими значениями для обеих схем опирания.

Полученные результаты актуальны в части возможности диагностики дефектов, характерных для стальных конструкций, таких как снижение жесткости и несущей способности вследствие коррозии, особенно при затруднении или невозможности обследования конструкций, скрытых дефектов в виде трещин, в том

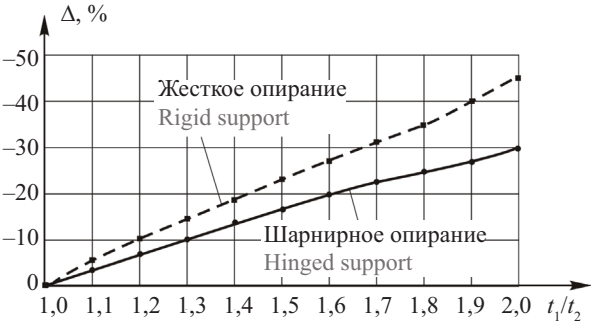


Рис. 5. Изменение отклонения Δ коэффициента K в зависимости от соотношения толщины пластины t_1 на опоре к толщине t_2 в центре

Fig. 5. Variation of the deviation Δ of the coefficient K depending on the ratio of the thickness of the plate t_1 on the support to the thickness t_2 in the center

числе в сварных швах, изменения условий опирания конструкции из-за коррозии металла в опорных узлах. Применение динамических методов натурных испытаний позволит существенно упростить и удешевить получение экспериментальных данных о таких конструкциях. Подобные исследования пластин переменной толщины по закону обратной параболы, в которых рассматривается взаимосвязь максимальных прогибов от равномерно распределенной нагрузки и собственных частот поперечных колебаний, являются оригинальными, а результаты численных исследований получены впервые.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Александров А.В., Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности. М. : Высшая школа, 1990. 398 с.
2. Варвак П.М., Рябов А.Ф. Справочник по теории упругости. Киев : Будівельник, 1971. 419 с.
3. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. М. : Наука, 1966. 636 с.
4. Коробко В.И. Об одной «замечательной» закономерности в теории упругих пластинок // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1989. № 11. С. 32–36.
5. Коробко В.И., Бояркина О.В. Взаимосвязь задач поперечного изгиба и свободных колебаний треугольных пластинок // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2007. № 22 (94). С. 24–26. EDN KQYAWV.
6. Коробко В.И. Применение изопериметрического метода к решению задач технической теории пластинок. Хабаровск, 1978. 66 с.
7. Турков А.В., Жупкина К.А. Взаимосвязь максимальных прогибов и частот собственных колебаний изотропных кольцевых пластин при шарнирном опирании по внешнему контуру // Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и архитектуры : сб. мат. XX междунар. науч.-техн. конф. 2019. С. 299–302. URL: http://dmitriy.chiginskiy.ru/publications/files/Materialy_XX_MNTK-2019_Tula.pdf
8. Турков А.В., Марфин К.В., Баженова А.В. Прогибы и частоты собственных колебаний составных многослойных квадратных изотропных пластин с шарнирным опиранием по контуру при изменении жесткости связей сдвига // Строительство и реконструкция. 2019. № 4. С. 64–69. DOI: 10.33979/2073-7416-2019-84-4-64-69
9. Turkov A., Abashina N.S. Deflections and frequencies of natural oscillations of systems of composite two-layer isotropic plates of the round shape at the change of thickness of one of the layers // Istrazivanja i projektovanja za privredu. 2017. Vol. 15. Issue 3. Pp. 389–394. DOI: 10.5937/jaes15-14669
10. Pisačić K., Horvat M., Botak Z. Finite difference solution of plate bending using Wolfram Mathematica // Tehnički glasnik. 2019. Vol. 13. Issue 3. Pp. 241–247. DOI: 10.31803/tg-20190328111708
11. Садигов И.Р. Исследование устойчивости многослойных круглых пластин переменной толщины из нелинейно-упругого материала // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 7–1 (85). С. 33–37. DOI: 10.23670/IRJ.2019.85.7.006 EDN QPJLNM.
12. Гольдштейн Р.В., Попов А.Л., Козинцев В.М., Челюбеев Д.А. Неосесимметричная потеря устойчивости при осесимметричном нагреве круглой пластины // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2016. № 2. С. 45–53. DOI: 10.15593/perm.mech/2016.2.04 EDN WBWPZT.
13. Судакова И.А. Собственные колебания круглых пластин из ортотропных разносопротивляющихся материалов // Актуальные вопросы и перспективы развития математических и естественных наук : сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. Омск, 2017. № 4.
14. Агаларов Дж.Г., Мамедова Г.А. Колебания пластины, шарнирно закрепленной и упруго подвешенной на винклеровом основании // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 7. С. 48–53. EDN XYQHKX.
15. Габбасов Р.Ф., Уварова Н.Б. Численный метод расчета круглых плит в геометрически нелинейной постановке // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 6 (105). С. 631–635. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.6.631-635 EDN ZASZFL.
16. Габбасов Р.Ф., Хоанг Т.А., Уварова Н.Б., Ипатов О.Н. Расчет круглых плит постоянной жесткости на локальные нагрузки // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 3. С. 25–28. EDN TOBVXB.
17. Akimov P.A., Mozgaleva M.L., Kaytukov T.B. Numerical solution of the problem of beam analysis with the use of b-spline finite element method // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2020. Vol. 16. Issue 3. Pp. 12–22. DOI: 10.22337/2587-9618-2020-16-3-12-22
18. Kövesdi B. Finite element model-based design of stiffened welded plated structures subjected to combined loading // Periodica Polytechnica Civil Engineering. 2021. DOI: 10.3311/ppci.17229
19. Nadolski V., Rózsás Á., Sykora M. Calibrating partial factors — methodology, input data and case study of steel structures // Periodica Polytechnica Civil Engineering. 2019. DOI: 10.3311/PPci.12822
20. Семенов А.А., Габитов А.И. Проектно-вычислительный комплекс SCAD в учебном процессе. М. : Изд-во АСВ, 2005. 152 с.

Поступила в редакцию 15 марта 2023 г.

Принята в доработанном виде 17 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 7 июля 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Андрей Викторович Турков** — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций и материалов; **Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева (ОГУ им. И.С. Тургенева)**; 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95; РИНЦ ID: 543490, Scopus: 57193456012; aturkov@bk.ru;

Сергей Иванович Полешко — студент; **Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева (ОГУ им. И.С. Тургенева)**; 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95; sergey_poleshko@mail.ru.

Вклад авторов:

Турков А.В. — идея оценки взаимосвязи максимальных прогибов и частот собственных колебаний круглых пластин переменной по закону квадратной параболы пластины, сбор материала, написание статьи, научное редактирование, подготовка статьи к печати.

Полешко С.И. — сбор материалов, обработка материала, проведение численных исследований, написание статьи, оформление рисунков и таблиц.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Aleksandrov A.V., Potapov V.D. *Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990; 398. (rus.).
2. Varvak P.M., Ryabov A.F. *Handbook on the theory of elasticity*. Kyiv, Budivelnik Publ., 1971; 419. (rus.).
3. Timoshenko S.P., Voinovsky-Krieger S. *Plates and shells*. Moscow, Nauka Publ., 1966; 636. (rus.).
4. Korobko V.I. On one “remarkable” regularity in the theory of elastic plates. *Izvestiya vuzov. Construction and Architecture*. 1989; 11:32-36. (rus.).
5. Korobko V.I., Boyarkina O.V. The relationship between the problems of transverse bending and free vibrations of triangular plates. *Bulletin of SUSU. Series “Construction Engineering and Architecture”*. 2007; 22(94):24-26. EDN KWYAWV. (rus.).
6. Korobko V.I. *Application of the isoperimetric method to solving problems of the technical theory of plates*. Khabarovsk, 1978; 66. (rus.).
7. Turkov A.V., Zhupikova K.A. Relationship between maximum deflections and natural frequencies of isotropic annular plates with hinged support along the external contour. *Actual problems of construction, construction industry and architecture : collection of materials of the XX International Scientific and Technical Conference*. 2019; 299-302. URL: http://dmity.chiginskiy.ru/publications/files/Materialy_XX_MNTK-2019_Tula.pdf (rus.).
8. Turkov A.V., Marfin K.V., Bazhenova A.V. The deflections and natural frequencies of the composite layered square isotropic plates with hinged supports along the contour at different stiffness values of shear ties. *Building and Reconstruction*. 2019; 4:64-69. DOI: 10.33979/2073-7416-2019-84-4-64-69 (rus.).
9. Turkov A., Abashina N.S. Deflections and frequencies of natural oscillations of systems of composite two-layer isotropic plates of the round shape at the change of thickness of one of the layers. *Istrazivanja i projektovanja za privredu*. 2017; 15(3):389-394. DOI: 10.5937/jaes15-14669
10. Pisačić K., Horvat M., Botak Z. Finite difference solution of plate bending using Wolfram Mathematica. *Tehnički glasnik*. 2019; 13(3):241-247. DOI: 10.31803/tg-20190328111708
11. Sadigov I.R. Study of stability of multilayer round plates of variable thickness from nonlinear elastic material. *International Research Journal*. 2019; 7-1(85):33-37. DOI: 10.23670/IRJ.2019.85.7.006 EDN QPJLNM. (rus.).
12. Goldstein R.V., Popov A.L., Kozintsev V.M., Chelyubeev D.A. Non-axisymmetric loss of stability during axisymmetric heating of a round plate. *PNRPU Mechanics Bulletin*. 2016; 2:45-53. DOI: 10.15593/perm.mech/2016.2.04 EDN WBWPZT. (rus.).
13. Sudakova I.A. Natural vibrations of round plates made of orthotropic materials with different resistance. *Topical issues and prospects for the development of mathematical and natural sciences : a collection of scientific papers based on the results of an international scientific and practical conference*. Omsk, 2017; 4. (rus.).
14. Agalarov Dzh.G., Mamedova G.A. Oscillations of the plate pivotally fastened and elastic suspended on Vinklerov base. *International Journal of Applied and Basic Research*. 2018; 7:48-53. EDN XYQHKK. (rus.).
15. Gabbasov R.F., Uvarova V.N. Numerical Method of Calculation of Round Plates in a Geometrically Nonlinear Statement. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2017; 12(6):631-635. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.6.631-635 EDN ZASZFL. (rus.).
16. Gabbasov R.F., Hoang Tuan Anh, Uvarova N.B., Lipatova O.N. Calculation of circular plates with constant stiffness for local loads. *Industrial and Civil Engineering*. 2015; 3:25-28. EDN TOBVXB. (rus.).
17. Akimov P.A., Mozgaleva M.L., Kaytukov T.B. Numerical solution of the problem of beam analysis with the use of b-spline finite element method. *International Journal for Computational Civil and Structural*

Engineering. 2020; 16(3):12-22. DOI: 10.22337/2587-9618-2020-16-3-12-22

18. Kövesdi B. Finite element model-based design of stiffened welded plated structures subjected to combined loading. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 2021. DOI: 10.3311/ppci.17229

19. Nadolski V., Rózsás Á., Sykora M. Calibrating partial factors — methodology, input data and case study of steel structures. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 2019. DOI: 10.3311/PPci.12822

20. Semenov A.A., Gabitov A.I. *Design and computer complex SCAD in the educational process*. Moscow, ASV Publishing House, 2005; 152. (rus.).

Received March 15, 2023.

Adopted in revised form on May 17, 2023.

Approved for publication on July 7, 2023.

B I O N O T E S: **Andrey V. Turkov** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Building Structures and Materials; **Orel State University named after I.S. Turgenev (OSU named after I.S. Turgenev)**; 95 Komsomolskaya st., Orel, 302026, Russian Federation; ID RSCI: 543490, Scopus: 57193456012; aturkov@bk.ru;

Sergey I. Poleshko — student; **Orel State University named after I.S. Turgenev (OSU named after I.S. Turgenev)**; 95 Komsomolskaya st., Orel, 302026, Russian Federation; sergey_poleshko@mail.ru.

Contribution of the authors:

Andrey V. Turkov — the idea of assessing the relationship between the maximum deflections and natural oscillation frequencies of round plates of a variable according to the law of the square parabola of the plate, collecting material, writing an article, scientific editing, preparing an article for publication.

Sergey I. Poleshko — collecting materials, processing materials, conducting numerical studies, writing an article, making drawings and tables.

The authors declare no conflict of interest.

Оценка несущей способности сталебетонных балок на основе гнутых профилей

Фарит Сахапович Замалиев¹, Ашот Георгиевич Тамразян²

¹ Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КГАСУ); г. Казань, Россия;

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В гражданских зданиях в последнее время намечается распространение сталежелезобетонных (сталебетонных) конструкций. В сталежелезобетонных перекрытиях сегодня чаще всего применяют прокатные профили. Использование гнутых профилей в сталежелезобетонных изгибаемых конструкциях пока не нашло широкого распространения. Поэтому исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) сталежелезобетонных балок является актуальной задачей. Приведены новая методика и расчетные формулы оценки несущей способности изгибаемых сталебетонных элементов. Описаны компьютерные модели составной балки, состоящей из гнутых профилей, замоноличенных бетоном. На основе результатов численных исследований изготовлены и испытаны модели балок. Выявлено НДС экспериментальной составной балки. Анализ НДС опытных балок, их поведение под нагрузкой позволили разработать новую методику оценки несущей способности балок. Сопоставлены данные натурного эксперимента и численных исследований по компьютерным моделям, а также по аналитическим формулам. Проведены численные и графические сравнения итогов натурных испытаний с численными исследованиями и по аналитическим формулам.

Материалы и методы. Компьютерное моделирование выполнено с помощью пакета программы ANSYS. Аналитические формулы для оценки прочности изгибаемого элемента записаны на основе предельных относительных деформаций сжатия бетона. Для натурных экспериментов изготовлены составные сталебетонные балки на основе гнутых швеллеров.

Результаты. Определено НДС балок по полученным зависимостям и в результате натурных испытаний, а также на основе компьютерного моделирования. Результаты числовых значений по предложенным аналитическим формулам сопоставлены с данными натурных экспериментов.

Выводы. Предложены аналитические зависимости оценки прочности сталебетонных изгибаемых элементов, изучены особенности работы сталебетонных балок по численному моделированию и аналитическим зависимостям, натурным экспериментам. Аналитические зависимости, записанные на основе предельных относительных деформаций сжатия бетона, дают лучшие результаты, чем известный метод расчета, базирующийся на методе предельных усилий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сталебетонная балка, гнутые профили, методы оценки прочности, компьютерное моделирование, натурные эксперименты, напряжения, прогибы

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Замалиев Ф.С., Тамразян А.Г. Оценка несущей способности сталебетонных балок на основе гнутых профилей // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 8. С. 1220–1229. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1220-1229

Автор, ответственный за переписку: Фарит Сахапович Замалиев, zamaliev49@mail.ru.

To the evaluation of the carrying capacity of steel concrete beams on the basis of bent profiles

Farit S. Zamaliev¹, Ashot G. Tamrazyan²

¹ Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE); Kazan, Russian Federation;

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

ABSTRACT

Introduction. Recently, more extensive use of steel-reinforced concrete (steel-concrete) structures is planned in civil buildings. In steel-reinforced concrete ceilings. The use of bent profiles in steel-reinforced concrete bent structures has not yet become widespread, probably due to the lack of simple methods. Therefore, the study of the stress-strain state of steel-reinforced concrete beams is a very urgent task. The article presents a new methodology and calculation formulas for assessing the bearing capacity of bent steel concrete elements reinforced with a cold-formed profile. Computer models of a composite beam consisting of bent profiles embedded in concrete are described, where options for the location of anchor ties are considered, which ensure the joint operation of both the profile with concrete and two bent channels into an I-beam. On the basis of the results of numerical studies, models of beams were made and tested. Analysis of the stress-

strain state of experimental beams, their behavior under the influence of increasing the degree of increase in the intensity of development of the abilities of beams based on the limiting relative deformations of the personality of concrete. The results of experimental studies are presented in the form of graphs, comparison of the results of a full-scale experiment and numerical studies using computer models, as well as using analytical formulas. In conclusion, comparisons of the results of full-scale tests with numerical studies and by analytical formulas are given.

Materials and methods. The ANSYS software package was used for computer simulation. Analytical formulas for assessing the strength of a bending element are written on the basis of the limiting relative compressive strains of concrete. For full-scale experiments, composite steel beams were made, consisting of bent channels with filling the side cavities with concrete, self-tapping screws were used as anchor connections.

Results. The stress-strain state of the beams was revealed according to the obtained dependences and as a result of full-scale tests, as well as on the basis of computer simulation. The results of numerical studies are used for the manufacture of full-scale samples. The results of numerical values according to the proposed analytical formulas are compared with the data of full-scale experiments.

Conclusions. Analytical dependences of the strength assessment of reinforced concrete bending elements by the method based on the limiting relative deformations of concrete compression are proposed, the features of the operation of reinforced concrete beams are studied by numerical modeling and by analytical dependences, full-scale experiments. It is shown that numerical studies give good convergence with experimental data. Analytical dependencies recorded on the basis of the ultimate relative compressive strains of concrete give better results than the well-known calculation method based on the limit force method.

KEYWORDS: reinforced concrete beam, bent profiles, strength assessment methods, computer simulation, full-scale experiments, stresses, deflections

FOR CITATION: Zamaliev F.S., Tamrazyan A.G. To the evaluation of the carrying capacity of steel concrete beams on the basis of bent profiles. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1220-1229. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1220-1229 (rus.).

Corresponding author: Farit S. Zamaliev zamaliev49@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В конце XIX в. (1886 г.) в России железобетон стал применяться для междуэтажных перекрытий по стальным балкам на базе экспериментальных данных [1], хотя к этому времени в общих чертах уже сложилась теория расчета железобетонных конструкций (ЖБК) по допускаемым напряжениям.

В 30-е годы XX столетия в европейских странах (Англия, Франция) появились монолитно связанные с металлической балкой железобетонные плиты, что можно считать началом развития сталежелезобетонных конструкций.

Обеспечение совместной работы бетонной плиты со стальной балкой стало главной задачей в сталежелезобетонных конструкциях [2, 3]. Первые конструкции как отдельных балок, так и ребристых сталежелезобетонных перекрытий были на основе прокатных стальных балок [4–7].

Удачное сочетание работы бетона преимущественно на сжатие, а стали на растяжение в сталежелезобетонных конструкциях приводит к экономии материалов, сокращению сроков изготовления и монтажа. В труде [8] приводится таблица, где показано, что сталежелезобетонные конструкции экономичнее (по приведенным затратам) на 25–30 % и на 45–50 % по сравнению со стальными конструкциями и ЖБК соответственно. Благодаря этим факторам сталежелезобетонные конструкции достаточно широко применяются в зданиях и сооружениях.

Исследования направлены на выявление напряженно-деформированного состояния (НДС) изгибаемых балок и плит. Для изучения НДС сталежелезобетонных конструкций используют как

аналитические, так и экспериментальные методы [9–11].

В последнее время в сталебетонных конструкциях наметилась тенденция применения гнутых профилей вместо прокатных. Гнутые профили успешно выполняют функции жесткого профиля как в изолированных сталебетонных балках, так и в перекрытиях, что подтверждают статьи в разных изданиях [12–14].

Одним из главных вопросов при проектировании является оценка несущей способности, расчет прочности будущих несущих конструкций из сталежелезобетона. Развитие методов оценки прочности сталежелезобетонных конструкций происходило по аналогии с ЖБК с жесткой арматурой [15–17], и сегодня для оценки НДС изгибаемого элемента берется треугольная или прямоугольная эпюра внутренних напряжений, составляется уравнение внутреннего момента и сравнивается с моментом от внешних нагрузок¹. Переход на деформационные методы с учетом сдвига контакта «сталь – бетон» и криволинейной эпюры напряжений дает лучший результат [18]. Жесткая арматура в виде прокатного профиля в железобетонном сечении, прокатный профиль (двутавр, швеллер) в сталежелезобетонном и в предельном состоянии изгибаемого элемента позволяют выработать шарнир пластичности [19–21]. Легкие гнутые профили уступают по несущей способности прокатным профилям, и расчеты прочности по зависимостям, предложенным для сталежелезобетонных сечений с жесткой арматурой, значительно разнятся. Исходя из сказанного, необходимо искать более приемлемые методы расчета. В данной статье предлагается метод оценки

¹ СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. М., 2017.

несущей способности, основанный на предельных относительных деформациях сжатого бетона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для численных исследований сталебетонных балок применены как аналитические методы, так и численные с помощью пакета программ ANSYS.

В качестве стальных гнутых С-образных стальных профилей в численных и экспериментальных исследованиях использовались стальные профили.

В сталебетонной балке (патент РФ № 183856) саморезы выполняют двойную функцию: служат объединительным элементом для двух С-образных гнутых профилей и элементом, обеспечивающим совместную работу профиля и бетона.

Исследователи с целью численных экспериментов применяют расчетные программы, основанные на методе конечных элементов. Использован ПК ANSYS, который позволяет смоделировать опытную балку с заданными параметрами и физико-механическими свойствами материалов.

Выполнили расчет с заданными выше свойствами и условиями, получили мозаику прогибов и изополя напряжений сталебетонной балки (рис. 1–3).

Для анализа работы предложенных конструктивных схем исследовано влияние изменения геометрических показателей (толщины профилей, количества рядов саморезов, размера шагов расположения саморезов, длины винта-самореза) на работу двух конструктивных моделей — с саморезами, расположенными под углом 45° , и саморезами, расположенными вертикально [13].

Численные исследования сталебетонных балок проведены с вариацией геометрических параметров гнутого профиля (толщиной 2, 3, 4 мм), длин саморезов, скрепляющих гнутые швеллеры (30, 40, 50 мм), и их разности (1, 2 ряда), шага (100, 125, 150, 175, 200 мм; 150, 200, 300 мм; 200, 300, (400) мм). Вари-

рование включает 8 наиболее значимых факторов влияния. Всего рассмотрено 16 сталебетонных балок, для которых в ПК ANSYS получены результаты по оценке прочности и жесткости, основными из которых являются [13]:

- расположение саморезов под углом 45° уменьшает деформативность (прогибы на $1,43/1,38 = 3,6\%$) по сравнению с вертикальным расположением;
- уменьшение шага саморезов и увеличение их количества приводит к увеличению несущей способности.

На основе численных исследований изготовлены опытные образцы балок, гнутые профили из стали С245, класс бетона В25.

В качестве испытательной схемы образцов принята балка с приложением двух сосредоточенных сил в средней части пролета на расстоянии 400 мм друг от друга. Пролет испытываемых балок — 1900 мм. Внешнюю нагрузку приложили посредством гидравлического пресса, от которого через металлическую траверсу в двух точках передавалась нагрузка через подвижный и неподвижный катки [13].

Цель испытаний — изучение НДС сталебетонных балок. В ходе экспериментов измерялись деформации материалов с помощью электротензодатчиков с базами 20 мм (сталь) и 50 мм (бетон), к которым через провода и коммутатор (магазин переключателей) подключился электронный измеритель деформаций АИД-4М. Деформации сдвига на контакте «сталь – бетон» и деформации осадки опор и прогибы измерялись с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм [13].

За предельное состояние принималось полное физическое разрушение образцов сталежелезобетонных балок, сопровождавшееся значительными пластическими деформациями изгибаемого элемента. Опытные образцы разрушались по нормальному сечению в зоне чистого изгиба (рис. 4) в результате

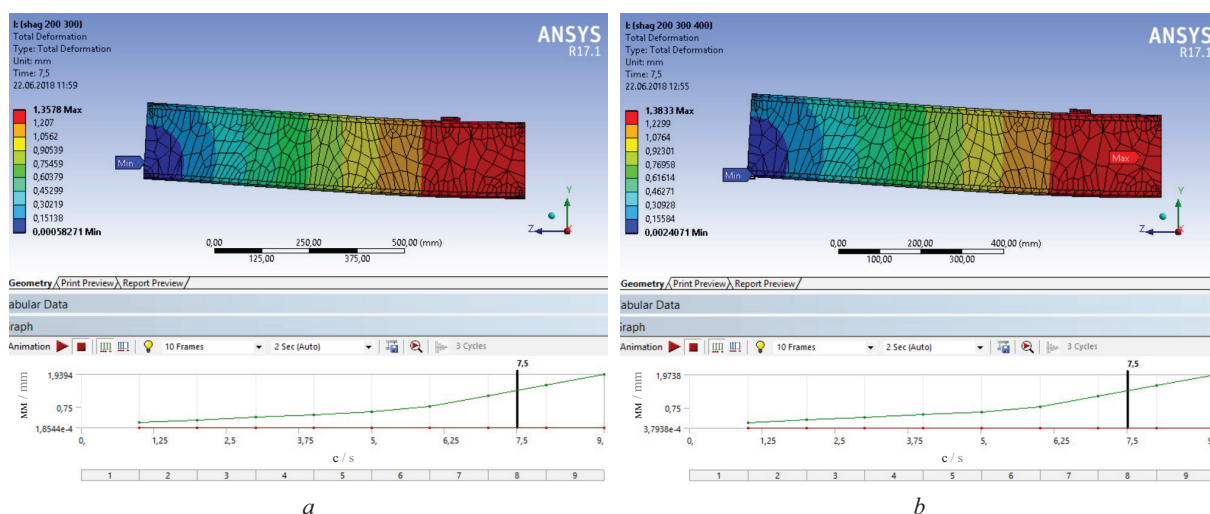


Рис. 1. Изополя прогибов 1-й (а) и 2-й (б) конструктивной схемы на половине балки

Fig. 1. Deflection isofields of the 1st (a) and 2nd (b) structural scheme on half of the beam

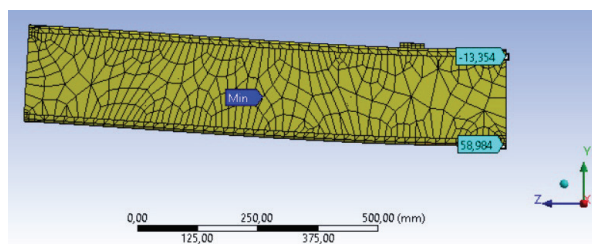


Рис. 2. Изополя напряжений бетона и стали сталебетонной балки 1-й конструктивной схемы

Fig. 2. Isofields of concrete and steel stresses of a reinforced concrete beam of the 1st structural scheme

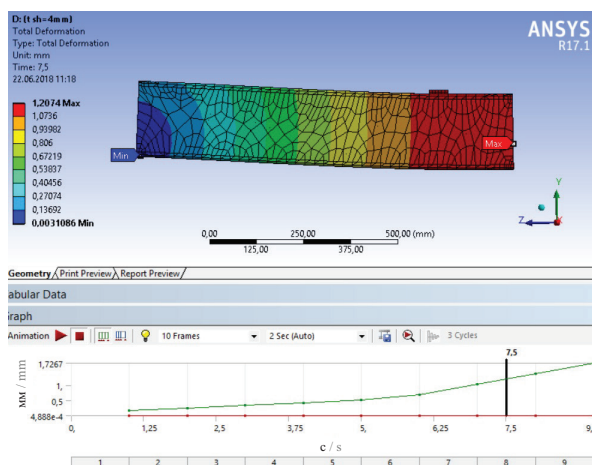


Рис. 3. Мозаика прогибов сталебетонной балки 1-й конструктивной схемы

Fig. 3. Mosaic of deflections of a reinforced concrete beam of the 1st structural scheme

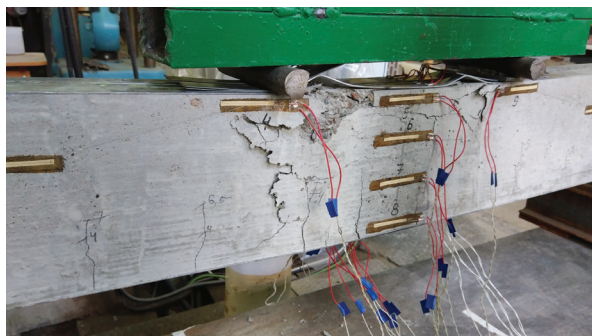


Рис. 4. Балка после испытаний

Fig. 4. Beam after testing

развития в средней части балки пластической деформации в бетоне и стали [13].

Разрушение в балках произошло от образования в середине пролета сначала нормальных трещин в бетоне в растянутой зоне сечения и разрушения бетонной сжатой части, потери устойчивости сжатой стальной полки в зоне максимальных моментов (рис. 5).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Графики развития прогибов в экспериментальных балках с наклонным и вертикальным располо-

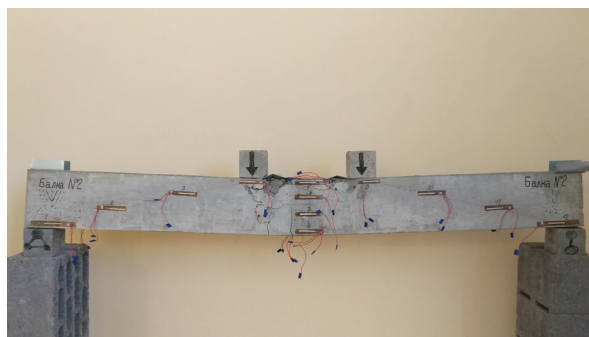


Рис. 5. Общий вид испытанной балки

Fig. 5. General view of the tested beam

жением саморезов приведены на рис. 6. Распределение напряжений в середине балки в сжатом бетоне и в растянутой полке стального профиля (тоже при наклонном и вертикальном расположении винтов-саморезов) показано на рис. 7.

Экспериментальные исследования показывают, что до нагрузки $0,75P_{раз}$ наблюдается прямолинейный характер развития прогибов. При нагрузках, больших чем $0,75P_{раз}$, эпюра прогибов принимает криволинейный вид, в дальнейшем наблюдается рост развития прогибов [13].

Сталебетонные балки могут быть как с забетонированием боковых полостей гнутых профилей, так и с размещением гнутых профилей внутри сечения, как принято в сталежелезобетонных сечениях с жестким профилем. Надо полагать, что размещение гнутого профиля в обетонированном замкнутом сечении приведет к работе верхних полков гнутого профиля без потери их устойчивости в отличие от балки, у которой забетонированы только открытые полости. Однако размещение анкеров в полках с обращением внутрь эту проблему может снять, что отмечалось в экспериментальных балках.

Рассмотрим расчет сталебетонной балки, армированной гнутыми профилями по методу предельных усилий, когда принимается в сечении элемент с прямоугольной эпюрой, для которой имеется информация по натурным испытаниям в источнике [13].

Положение границы сжатой зоны (граница сжатой зоны пересекает стенку двутавра) определяется по формуле (1) в соответствии с указаниями СП¹ для экспериментальной балки $x = 4,2$ см:

$$x = \frac{R_{pr} h t_w}{R_b b + R_{pr} t_w}; \quad (1)$$

$$\xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{\epsilon_{st,el}}{\epsilon_{b2}}} = \frac{0,8}{1 + \frac{1,189}{3,5}} = 0,5971, \quad (2)$$

где $\epsilon_{st,el} = R_y/E_{st} = 245/(2,06 \cdot 10^5) = 1,189 \cdot 10^{-3}$; $\epsilon_{b2} = 3,5 \cdot 10^{-3}$.

Для рассматриваемого случая $\xi = x/h_0 = 4,2/20 = 0,21 < \xi_R = 0,5971$.

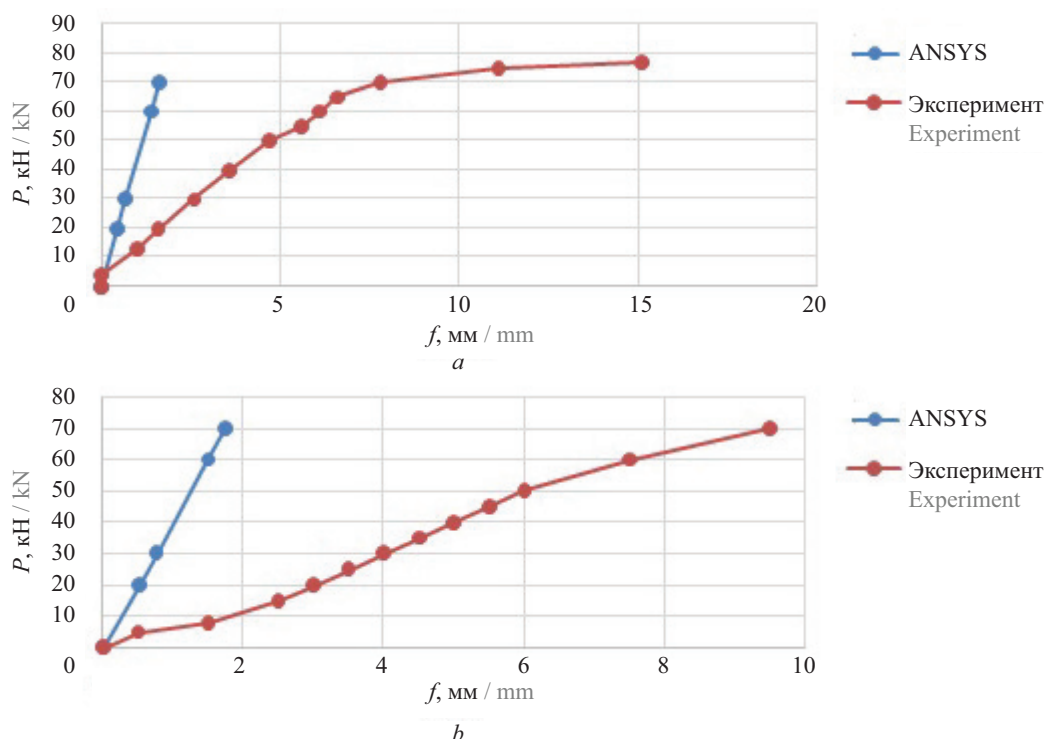


Рис. 6. Графики развития прогибов в экспериментальных балках и сравнения с данными ANSYS

Fig. 6. Graphs of the development of deflections in experimental beams and comparisons with ANSYS data

Согласно СП 266.1325800.2016, вычисленный при использовании метода предельных усилий расчетный изгибающий момент, который выдерживает сечение:

$$\begin{aligned}
 M &= R_b \frac{bx^2}{2} + R_{pr} \left[W_{пл} + \left(\frac{h}{2} - x \right)^2 t_w \right] = \\
 &= 14,5 \frac{10 \cdot 4,2^2}{2} + \\
 &+ 2450 \left[75,17 + (10 - 4,2)^2 0,4 \right] = \\
 &= 229\,703 \text{ кгсм} = 22,97 \text{ кНм}.
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

По данным натурных экспериментов [21], расчетным изгибающим моментом может быть момент в интервале от 26,25 до 29,25 кНм, что больше 22,97 кНм в 1,14–1,27 раза. Таким образом, метод предельных усилий для проектирования сталебетонных балок с жесткой арматурой не дает желаемые результаты.

Рассмотрим методику проектирования сталебетонных балок с жесткой арматурой с применением линейного расчета, основанного на предельной относительной деформации сжатия бетона (рис. 8).

При решении задачи приняты следующие допущения:

- используется гипотеза плоских сечений Бернулли;
- сопротивление бетона растяжению равно нулю;
- двухлинейная диаграмма состояния сжатой зоны бетона;
- диаграмма Прандтля работы стали;

- относительная деформация начала текучести бетона в сжатой зоне $\epsilon_{b1} = R_b/E_b$;
 - относительная деформация сжатия в верхней кромке балки не превышает предельную ϵ_{b2} ;
 - сталь жесткой арматуры — малоуглеродистая с выраженной площадкой текучести;
 - относительная деформация начала площадки текучести стали жесткой арматуры $\epsilon_{нт} = 0,002 + R_y/E$.
- Положение границы сжатой зоны определим, вычисляя внутренние усилия для каждой зоны.

Для сжатой зоны бетона:

$$\begin{aligned}
 \frac{x}{2\epsilon_{b2}} \epsilon_{b1} R_b 2b + \left(x - \frac{x}{\epsilon_{b2}} \epsilon_{b1} \right) R_b 2b = \\
 = x \left(1 - \frac{1}{2\epsilon_{b2}} \epsilon_{b1} \right) R_b 2b.
 \end{aligned}
 \quad (4)$$

Для сжатой зоны стального профиля:

$$\begin{aligned}
 \frac{x}{2\epsilon_{b2}} \epsilon_{нт} R_y 2t + (2b_f + 2t) t R_y + \\
 + \left(x - \frac{x}{\epsilon_{b2}} \epsilon_{нт} \right) 2t R_y = \\
 = 2(b_f + t) t R_y + x \left(1 - \frac{1}{2\epsilon_{b2}} \epsilon_{нт} \right) 2t R_y = \\
 = 2t R_y \left[(b_f + t) + x \left(1 - \frac{1}{2\epsilon_{b2}} \epsilon_{нт} \right) \right].
 \end{aligned}
 \quad (5)$$

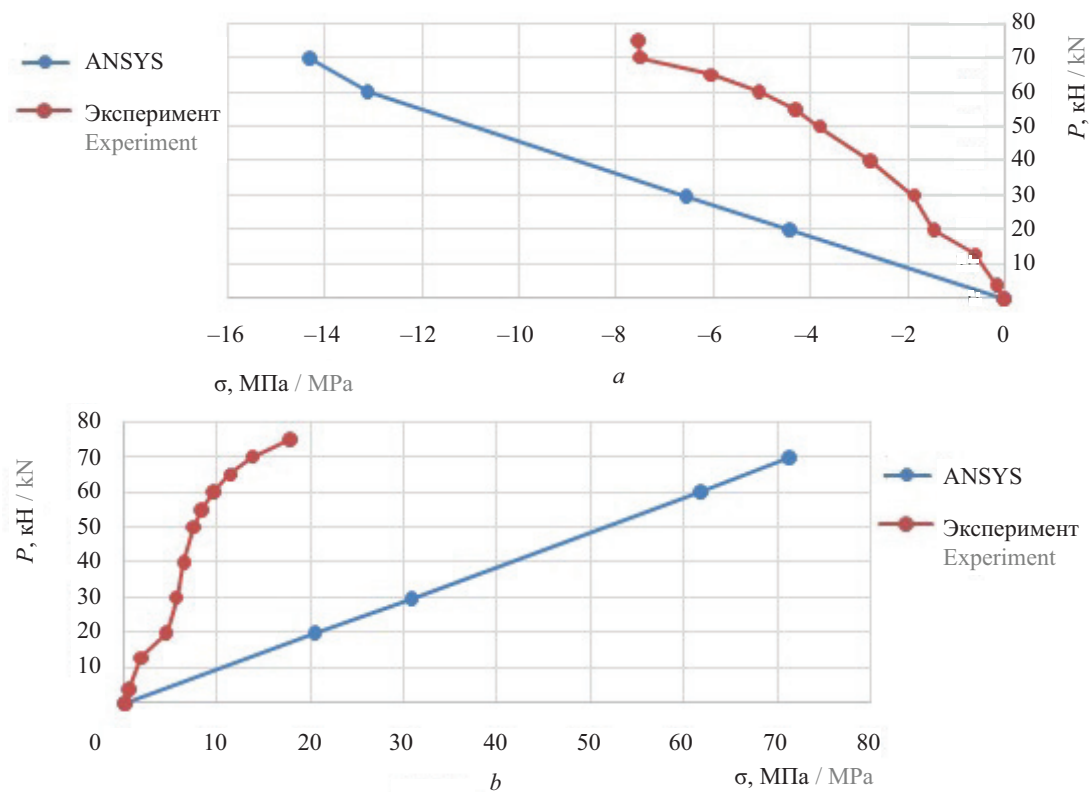


Рис. 7. Графики развития напряжений в экспериментальных балках и сравнения с данными ANSYS
Fig. 7. Graphs of development of events in experimental beams and comparison with ANSYS data

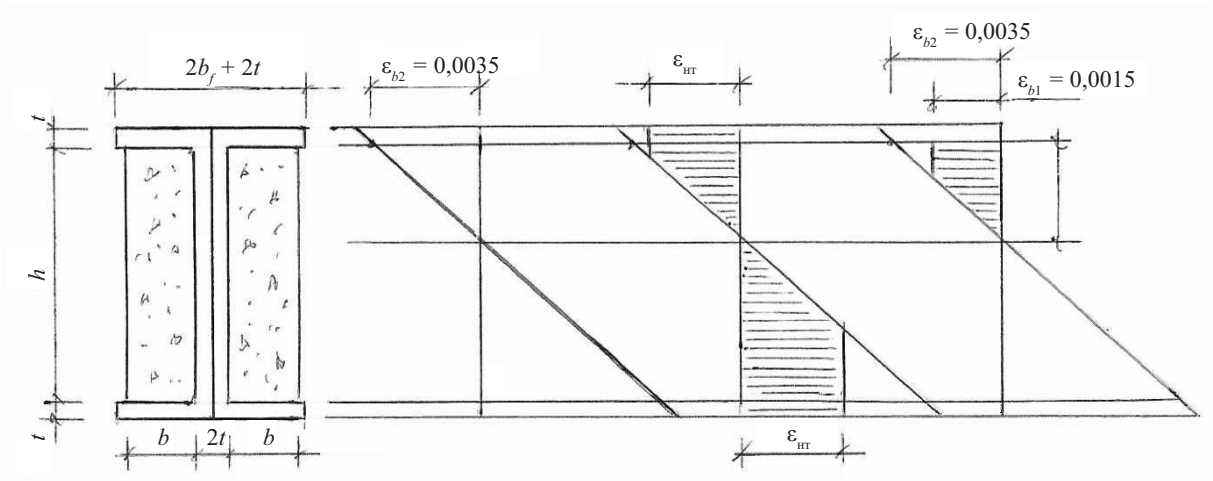


Рис. 8. Сечение балки и эпюры напряжений
Fig. 8. Calculated beam section and stress-strain state

Для растянутой зоны стального профиля:

$$\begin{aligned} & (2b_f + 2t)tR_y + \frac{x}{2\epsilon_{b2}}\epsilon_{нт}R_y2t + \\ & + \left(h - x - \frac{x}{\epsilon_{b2}}\epsilon_{нт}\right) \times R_y2t = \\ & = 2tR_y \left[(b_f + t) + \left(h - x - \frac{x}{2\epsilon_{b2}}\epsilon_{нт}\right) \right]. \end{aligned} \tag{6}$$

Уравнение равновесия:

$$\begin{aligned} & x \left(1 - \frac{1}{2\epsilon_{b2}}\epsilon_{b1} \right) R_b2b + \\ & + 2tR_y \left[(b_f + t) + x \left(1 - \frac{1}{2\epsilon_{b2}}\epsilon_{нт} \right) \right] = \\ & = 2tR_y \left[(b_f + t) + \left(h - x - \frac{x}{2\epsilon_{b2}}\epsilon_{нт}\right) \right]; \end{aligned} \tag{7}$$

$$x \left(1 - \frac{1}{2\varepsilon_{b2}} \right) R_b 2b = 2tR_y [(h - 2x)]; \quad (8)$$

$$x \left(1 - \frac{1}{2\varepsilon_{b2}} \varepsilon_{b1} \right) R_b 2b + 4tR_y x = 2tR_y h; \quad (9)$$

$$x = \frac{2tR_y h}{\left(1 - \frac{1}{2\varepsilon_{b2}} \varepsilon_{b1} R_b 2b + 4tR_y \right)}. \quad (10)$$

При конкретных значениях из эксперимента [21] по формуле (10) получим:

$$x = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 2450 \cdot 19,6}{\left(1 - \frac{2}{2 \cdot 0,0035} 0,0015 \right) 1450 \cdot 2 \cdot 4,72 + 4 \cdot 0,2 \cdot 2450} = \frac{19\,208}{12\,714,86} = 1,511 \text{ см.}$$

Внутренний момент (относительно границы сжатой зоны).

Для стальной части:

$$M_s = 2 \left(\frac{x}{2\varepsilon_{b2}} \varepsilon_{нт} 2 tR_y \frac{2}{3} \frac{x}{\varepsilon_{b2}} \varepsilon_{нт} \right) + \left(x - \frac{x}{\varepsilon_{b2}} \varepsilon_{нт} \right) 2tR_y \left[x - \frac{1}{2} \left(x - \frac{x}{\varepsilon_{b2}} \varepsilon_{нт} \right) \right] + \left(h - x - \frac{x}{\varepsilon_{b2}} \varepsilon_{нт} \right) 2tR_y \left[\frac{x}{\varepsilon_{b2}} \varepsilon_{нт} + \frac{\left(h - x - \frac{x}{\varepsilon_{b2}} \varepsilon_{нт} \right)}{2} \right] + (2b_f + 2t)tR_y \left(x + \frac{t}{2} \right) + (2b_f + 2t)tR_y \left(h - x + \frac{t}{2} \right); \quad (11)$$

$$M_s = tR_y x^2 \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{1}{\varepsilon_{b2}} \varepsilon_{нт} \right)^2 \right] + 2(b_f + t)tR_y (h + t) + tR_y \left[(h - x)^2 - \left(\frac{x}{\varepsilon_{b2}} \varepsilon_{нт} \right)^2 \right]. \quad (12)$$

Для бетонной части:

$$M_b = x^2 b R_b \left[\frac{5}{3} \left(\frac{1}{\varepsilon_{b2}} \varepsilon_{b1} \right)^2 + 1 \right]. \quad (13)$$

Для всего сечения:

$$M_{inf} = M_s + M_b. \quad (14)$$

При конкретных значениях ($\varepsilon_{нт} = 0,002 + 2450/2 \cdot 100\,000 = 0,003167$) по формуле (14):

$$M_{inf} = 0,2 \cdot 2450 \times 1,511^2 \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{1}{0,0035} 0,003167 \right)^2 \right] + 2(4,92 + 0,2) 0,2 \cdot 2450 (19,6 + 0,2) + 0,2 \times 450 \left[(19,6 - 0,2)^2 - \left(\frac{1,511}{0,0035} 0,003167 \right)^2 \right] + 1,511^2 \cdot 4,72 \cdot 185,0 \left[\frac{5}{3} \left(\frac{1}{0,0035} 0,0015 \right)^2 + 1 \right] = 1895,365 + 99\,348,48 + 183\,500,422 + 2603,91 = 286\,785,17 \text{ кгсм} = 28,67 \text{ кНм.}$$

По данным натурных испытаний [21] балки разрушились при нагрузках 70 и 78 кН, внутренний изгибающий момент для которых может быть 26,25 и 29,25 кНм. Теоретический изгибающий момент, вычисленный по формуле (14), равен 28,67 кНм, т.е. расхождения составляют: 9 и 2 % соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сталежелезобетонные изгибаемые элементы в несущих конструкциях используют на сегодняшний день не так широко из-за того, что такие системы недостаточно изучены и нет опыта их применения в строительной практике.

Численные исследования и натурные испытания сталежелезобетонных балок со стальным гнутым профилем подтвердили перспективность подобной конструкции.

На основе изучения особенностей НДС сталежелезобетонных балок со стальными составными двутаврами, образованными из двух гнутых швеллеров, получены численные результаты.

Сравнение результатов численного эксперимента с данными натурных испытаний показывает, что расхождения результатов численных экспериментов от натурных (при наклонном и вертикальном расположении анкерных связей) находятся [13]:

- по напряжениям до 9 и 11 %;
- по прогибам до 5 и 8 %;
- по несущей способности до 7 и 10 % соответственно.

Анализ результатов численных исследований, полученных с помощью ПК ANSYS, продемонстрировал, что конечные результаты прогибов по нагрузкам не превышают 8 %, однако характер графиков сильно расходится. В численных экспериментах они прямолинейные, а в натурных испытаниях — криволинейные, численные значения прогибов отличаются в 5–7 раз, расхождения напряжений по нагрузкам не превышают 11 %, а по собственным значениям расходятся в 2–4 раза соответственно.

Полученные результаты численных и натурных испытаний позволили разработать новую методику оценки несущей способности сталебетонных балок, основанную на предельной деформации сжатого бетона.

Сравнение результатов испытаний и численных расчетов балок по предлагаемому методу показыва-

ет, что расхождения по несущей способности находятся в пределах от 2 до 9 %.

Для уменьшения количественного расхождения аналитических и экспериментальных результатов изгибаемых сталебетонных элементов с гнутым профилем необходимы дальнейшие исследования таких видов конструкций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тамразян А.Г. А.Ф. Лолейт. История развития теории железобетона : биографический очерк. М. : МГСУ, 2018. 184 с.
2. Замалиев Ф.С., Исмаилов Б.Т. Численные и натурные исследования анкерных связей сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2018. № 3 (45). С. 121–128.
3. Тонких Г.П., Чесноков Д.А. Экспериментальное исследование сдвигового соединения монолитных сталежелезобетонных перекрытий на уголковых анкерных упорах // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 2. С. 144–152. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.2.144-152
4. Бабалич В.С., Андросов Е.Н. Сталежелезобетонные конструкции и перспектива их применения в строительной практике России // Успехи современной науки. 2017. Т. 4. № 4. С. 205–208. EDN YROOWX.
5. Веселов А.А., Чепилко С.О. Напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонной балки // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 2 (23). С. 31–37. EDN NDQVNX.
6. Егоров П.И., Королев С.А. Сталежелезобетонные перекрытия // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2015. № 1. С. 310–313. EDN VBXMMP.
7. Тамразян А.Г., Арутюнян С.Н. К оценке надежности сталежелезобетонных плит перекрытий с профилированными настилами // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 6 (53). С. 52–57. EDN VKDUIR.
8. Кибирева Ю.А., Астафьева Н.С. Применение конструкций из сталежелезобетона // Экология и строительство. 2018. № 2. С. 27–34. DOI: 10.24411/2413-8452-2018-10004
9. Hadzalic E., Barucija K. Concrete shrinkage effects in composite beam // Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. Vol. 11 (26). Pp. 85–93.
10. Kim H.-Y., Jeong Y.-J. Ultimate strength of a steel–concrete composite bridge deck slab with profiled sheeting // Engineering Structures. 2010. Vol. 32. Issue 2. Pp. 534–546. DOI: 10.1016/j.engstruct.2009.10.014
11. Замалиев Ф.С., Тамразян А.Г. К расчету сталежелезобетонных ребристых плит для восста-
- навливаемых перекрытий // Строительство и реконструкция. 2021. № 5. С. 3–15.
12. Аль-Хаснави Я.С.Г., Ласьков Н.Н., Ефимов О.И., Замалиев Ф.С. Предпосылки и ограничения к нелинейному расчету сталебетонных балок из ячеистого бетона с жесткой арматурой из тонкостенных стальных гнутых профилей // Региональная архитектура и строительство. 2021. № 4 (49). С. 88–95.
13. Замалиев Ф.С. Численные эксперименты и натурные испытания сталежелезобетонных балок на основе гнутых профилей // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 1. С. 22–32. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.1.22-32
14. Ефимов О.И., Замалиев Ф.С., Ласьков Н.Н., Аль-Хаснави Я.С.Г. К оценке прочности изгибаемых сталебетонных элементов из ячеистого бетона, армированных холодногнутым профилем // Строительная механика и расчет сооружений. 2021. № 6 (299). С. 7–12. DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.7.12 EDN DYLTXX.
15. Kim S., Lee U. Effects of delamination on guided waves in a symmetric laminated composite beam // Mathematical Problems in Engineering. 2014. Vol. 2014. Pp. 1–12. DOI: 10.1155/2014/956043
16. Vasdravellis G., Uy B., Tan E.L., Kirkland B. Behaviour and design of composite beams subjected to sagging bending and axial compression // Journal of Constructional Steel Research. 2015. Vol. 110. Pp. 29–39. DOI: 10.1016/j.jcsr.2015.03.010
17. Kumar S., Barai V. Concrete fracture models and applications. Springer Berlin Heidelberg, 2011. DOI: 10.1007/978-3-642-16764-5
18. Замалиев Ф.С. Учет нелинейных свойств материалов и податливости слоев при расчете прочности сталежелезобетонных перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 5. С. 38–40. EDN QAMHXB.
19. Ye J. H., Chen W. Elastic restrained distortional buckling of steel-concrete composite beams based on elastically supported column method // International Journal of Structural Stability and Dynamics. 2013. Vol. 13. Issue 01. P. 1350001. DOI: 10.1142/s0219455413500016

20. Akbarzadeh H., Maghsoudi A.A. Experimental and analytical investigation of reinforced high strength concrete continuous beams strengthened with fiber reinforced polymer // *Materials & Design*. 2010. Vol. 31. Issue 3. Pp. 1130–1147. DOI: 10.1016/j.matdes.2009.09.041

21. Тамразян А.Г., Арутюнян С.Н. К учету профилированного настила как рабочей арматуры при расчете монолитных сталежелезобетонных плит перекрытий // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 7. С. 64–68. EDN WHKJWT.

Поступила в редакцию 3 мая 2023 г.

Принята в доработанном виде 6 июня 2023 г.

Одобрена для публикации 7 июля 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Фарит Сахапович Замалиев** — кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и испытания сооружений; **Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КГАСУ)**; 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1; SPIN-код: 4926-5781, ORCID: 0000-0002-3563-2994; zamaliev49@mail.ru;

Ашот Георгиевич Тамразян — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; tamrazian@mail.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Tamrazyan A.G. A.F. Loleit. *History of the development of the theory of reinforced concrete : biographical sketch*. Moscow, MGSU, 2018; 184. (rus.).

2. Zamaliev F.S., Ismagilov B.T. Numerical and full-scale studies of anchor links of steel reinforced structures. *Izvestiya KGASU*. 2018; 3(45):121-128. (rus.).

3. Tonkih G.P., Chesnokov D.A. An experimental study of a shear connection of steel-reinforced concrete slabs with angle shear studs. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2021; 16(2):144-152. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.2.144-152 (rus.).

4. Babalich V.S., Androsov E.N. Steel-reinforced concrete structures and the prospect of their application in the construction practice of Russia. *Advances of Modern Science*. 2017; 4(4):205-208. EDN YROOWX. (rus.).

5. Veselov A.A., Chepilko S.O. Stress and strain state in a steel reinforced concrete beam. *Bulletin of Civil Engineers*. 2010; 2(23):31-37. EDN NDQVNX. (rus.).

6. Egorov P.I., Korolev S.A. The composite slabs. *Far East: problems of development of the architectural and construction complex*. 2015; 1:310-313. EDN VBXMMP. (rus.).

7. Tamrazyan A.G., Arutyunyan S.N. To the assessment of reliability of composite steel reinforced concrete floor slabs with a profiled decking. *Bulletin of Civil Engineers*. 2015; 6(53):52-57. EDN VKDUIR. (rus.).

8. Kibireva I.A., Astafeva N.S. The use of steel-concrete structures. *Ecology and Construction*. 2018; 2:27-34. DOI: 10.24411/2413-8452-2018-10004 (rus.).

9. Hadzalic E., Barucija K. Concrete shrinkage effects in composite beam. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014; 11(26):85-93.

10. Kim H.-Y., Jeong Y.-J. Ultimate strength of a steel–concrete composite bridge deck slab with profiled sheeting. *Engineering Structures*. 2010; 32(2):534-546. DOI: 10.1016/j.engstruct.2009.10.014

11. Zamaliev F.S., Tamrazyan A.G. To calculation of steel-reinforced concrete ribbed plates for refurbished floors. *Building and Reconstruction*. 2021; 5:3-15. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-97-5-3-15 (rus.).

12. Al-Khasnavi Ya.S.G., Laskov N.N., Efimov O.I., Zamaliev F.S. Prerequisites and restrictions to the nonlinear calculation of reinforced concrete beams from cellular concrete with rigid reinforcement from thin-walled steel bent profiles. *Regional architecture and construction*. 2021; 4(49):88-95. (rus.).

13. Zamaliev F.S. Numerical and experimental investigations of steel-concrete beams with thin-walled section. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2019; 14:1:22-32. DOI: 10.22227/1997- 0935.2019.1.22-32 (rus.).

14. Efimov O.I., Zamaliev F.S., Laskov N.N., Al-Hasnawi Y.S.G. To the estimation of the strength of bended steel concrete elements from area concrete reinforced with a cold bent profile. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2021; 6(299):7-12. DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.7.12. EDN DYLTXX. (rus.).

15. Kim S., Lee U. Effects of delamination on guided waves in a symmetric laminated composite beam. *Mathematical Problems in Engineering*. 2014; 2014:1-12. DOI: 10.1155/2014/956043

16. Vasdravellis G., Uy B., Tan E.L., Kirkland B. Behaviour and design of composite beams subjected to sagging bending and axial compression. *Journal of Constructional Steel Research*. 2015; 110:29-39. DOI: 10.1016/j.jcsr.2015.03.010

17. Kumar S., Barai V. *Concrete Fracture Models and Applications*. Springer Berlin Heidelberg, 2011. DOI: 10.1007/978-3-642-16764-5
18. Zamaliev F.S. Taking into account nonlinear properties of materials and deformability of layers when calculating the strength of steel-reinforced concrete floors. *Industrial and Civil Engineering*. 2013; 5:38-40. EDN QAMHXB.
19. Ye J.H., Chen W. Elastic restrained distortional buckling of steel-concrete composite beams based on elastically supported column method. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*. 2013; 13(01):1350001. DOI: 10.1142/s0219455413500016
20. Akbarzadeh H., Maghsoudi A.A. Experimental and analytical investigation of reinforced high strength concrete continuous beams strengthened with fiber reinforced polymer. *Materials & Design*. 2010; 31(3):1130-1147. DOI: 10.1016/j.matdes.2009.09.041
21. Tamrazyan A.G., Harutyunyan S.N. To accounting profiled sheeting as working reinforcement in the calculation of monolithic steel-concrete floor slabs. *Industrial and Civil Engineering*. 2016; 7:64-68. EDN WHKJWT. (rus.).

Received May 3, 2023.

Adopted in revised form on June 6, 2023.

Approved for publication on July 7, 2023.

B I O N O T E S: **Farit S. Zamaliev** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal Structures and Testing of Structures; **Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**; 1 Zelenaya st., Kazan, 420043, Russian Federation SPIN-code: 4926-5781, ORCID: 0000-0002-3563-2994; zamaliev49@mail.ru;

Ashot G. Tamrazyan — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; tamrazian@mail.ru.

Contribution of the authors: all authors have made equivalent contributions to the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Результаты межлабораторных сличительных испытаний
геосинтетического материала

Андрей Владимирович Козлов
Автотор-Инжиниринг; г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Актуальность исследования обусловливается необходимостью совершенствования процедуры строительного контроля дорожно-строительных материалов в части лабораторных испытаний. Одним из действенных методов проверки компетентности лаборатории являются межлабораторные сравнительные испытания. Цель их проведения — обнаружение недостатков и несоответствий, анализ причин их появления, осуществление корректирующих мероприятий и, таким образом, совершенствование лабораторной системы качества.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования принята георешетка. Для межлабораторного сопоставления выбраны результаты определения прочности при растяжении, относительного удлинения при максимальной нагрузке, а также показатели морозостойкости материала и устойчивости к воздействию ультрафиолетового излучения. Все испытания выполнены в продольном направлении образцов георешетки. Установлены наиболее и наименее статистически однородные физико-механические показатели георешетки в условиях воспроизводимости результатов измерений по каждому из показателей, полученных в разных лабораториях и различными средствами измерений, с использованием алгоритма на основе Z-индексов.

Результаты. По совокупности результатов испытаний качество работы большинства испытательных лабораторий может быть признано удовлетворительным. Представленные данные получены по большинству показателей. В разрезе параметров неудовлетворительные сведения не выявлены; доля удовлетворительных результатов составляет 87,5–100 %.

Выводы. Обработанные данные протоколов испытаний свидетельствуют о высоком уровне компетентности участников межлабораторных сличений. Участие в программах межлабораторных сравнений несомненно является действенным способом проверки и повышения качества испытаний; индивидуальный анализ результатов позволяет улучшить лабораторную систему качества. Представляется целесообразным нормировать требования к коэффициенту вариации, сходимости и воспроизводимости контролируемых показателей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: георешетка, геосинтетические материалы, контроль качества, испытательные лаборатории, межлабораторные сличительные испытания, межлабораторные сравнительные испытания, статистический анализ данных

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Козлов А.В. Результаты межлабораторных сличительных испытаний геосинтетического материала // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 8. С. 1230–1240. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1230-1240

Автор, ответственный за переписку: Андрей Владимирович Козлов, A.Kozlov@avtodor-eng.ru.

Results of interlaboratory comparison tests of geosynthetic
material

Andrey V. Kozlov
Avtodor-Engineering; Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The relevance of the study is determined by the need to improve the procedure of construction control of road-building materials in terms of laboratory tests. One of the effective methods of checking the competence of the laboratory is interlaboratory comparative tests. The purpose of their implementation is to detect deficiencies and inconsistencies, analyze the causes of their occurrence, carry out corrective measures and, thus, improve the laboratory quality system.

Materials and methods. Geogrid was taken as the object of research. The results of tensile strength, relative elongation at maximum load, as well as indicators of frost resistance of the material and resistance to ultraviolet radiation were selected for interlaboratory comparison. All tests were performed in the longitudinal direction of geogrid samples. The most and least statistically homogeneous physical and mechanical parameters of geogrids were determined under the conditions of reproducibility of measurement results for each of the indices obtained in different laboratories and by various measuring instruments using an algorithm based on Z-scores.

Results. According to the totality of the test results, the quality of the work of the majority of testing laboratories can be considered as satisfactory. Representative data were obtained for the majority of parameters. No unsatisfactory data were found in the context of parameters; the share of satisfactory results is 87.5–100 %.

Conclusions. The performance-test data indicate a high level of competence of the participants in the interlaboratory comparisons. Participation in interlaboratory comparison programmes is undoubtedly an effective way to verify and improve

the quality of tests; individual analysis of the results makes it possible to improve the laboratory quality system. It seems reasonable to normalize the requirements for the coefficient of variation, convergence and reproducibility of controlled parameters.

KEYWORDS: geogrid, geosynthetic materials, quality control, testing laboratories, interlaboratory comparison tests, statistical data analysis

FOR CITATION: Kozlov A.V. Results of interlaboratory comparison tests of geosynthetic material. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1230-1240. DOI: 10.22227/1997-0s935.2023.8.1230-1240 (rus.).

Corresponding author: Andrey V. Kozlov, A.Kozlov@avtodor-eng.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время реализация дорожных проектов предполагает расширенное использование эффективных геосинтетических материалов (ГМ). В этом направлении на отраслевом уровне ведется активная работа: за последние 10 лет созданы и введены в действие национальные стандарты, регулирующие требования к ГМ и методам их испытаний. Разработаны и отраслевые документы, рекомендованные к применению Федеральным дорожным агентством (Росавтодор).

В современных реалиях строительства автомобильных дорог актуальна задача, связанная с оценкой соответствия поставляемых на объект ГМ. Для повышения эффективности системы строительного контроля техническая политика государственной компании «Автодор» (ГК «Автодор») в части организации входного контроля качества поставляемых на подведомственные объекты госкомпании ГМ предусматривает создание единой системы их испытаний. Оговаривается обеспечение недискриминационного доступа всех производителей материалов к участию в испытаниях и технических отборах, дифференциация проводимых испытаний в зависимости от их целевого назначения (для проектирования и разработки проектных требований, для контроля качества и оценки соответствия при поставке на участки строительства). Немаловажное значение при этом имеют оснащенность лабораторий подрядных организаций и квалификационный уровень сотрудников, что прямым образом отражается на достоверности результатов испытаний.

Один из эффективных способов подтверждения достоверности результатов, выдаваемых лабораторией, — проверка ее компетентности посредством межлабораторных сравнительных испытаний (МСИ) [1–4]. Необходимость мониторинга деятельности лаборатории путем сравнения с результатами других лабораторий предписывает ГОСТ ISO/IEC 17025–2019¹, п. 7.7.2. Участие в межлабораторных сличениях — одно из мероприятий, которые обеспечивают такой мониторинг, равно как и подтверждение компетентности лаборатории с точки зрения соблюдения правил проведения измерений (испытаний), исследований и процедур системы менеджмента качества.

Межлабораторные сравнения, как важная часть обеспечения качества, наиболее широко используются в аналитической химии и радиохимии [5, 6], а также в смежных направлениях науки и техники, где химические и спектральные методы анализа являются незаменимыми, например при изучении состава и свойств минерального сырья [7–9], в металлургии [10], агрохимии [11], нефтехимии [4, 12] и др. Существенная работа в части межлабораторных исследований выполнена в грунтоведении. Это позволило получить для многих показателей свойств песчаных и глинистых грунтов межлабораторную и внутрилабораторную ошибки воспроизводимости, характеризующие систематическую и случайную погрешности измерения [13, 14].

Несмотря на это, МСИ в дорожно-транспортном строительстве и строительстве в целом носят ограниченный характер [15]. Известен опыт МАДИ по организации межлабораторных испытаний асфальтобетонных смесей по ГОСТ 12801–98 и битумных вяжущих по ГОСТ 22245–90 [16, 17]. Ежегодные межлабораторные испытания битумных вяжущих с 2018 г. проводит Росавтодор. По сопоставительным испытаниям ГМ интересен опыт ГК «Автодор», задействовавшей три независимых лаборатории. По всем показателям и методам сопоставительных испытаний получены определенные разбросы значений, что свидетельствует о неоднородности свойств материалов как в продольном и поперечном направлениях, так и в разных партиях. Эти результаты подтверждают необходимость введения параметров воспроизводимости в действующую нормативную базу по методам испытаний геосинтетики.

ООО «Автодор-Инжиниринг» с 2019 г. на регулярной основе проводит комплексные МСИ дорожно-строительных материалов: битумных вяжущих, асфальтобетонных смесей и асфальтобетона, цементного бетона, щебеночно-песчаных смесей и ГМ [18–21]. Предыдущие раунды межлабораторных сличений ГМ ООО «Автодор-Инжиниринг» осуществляло в 2019–2021 гг. Совокупные данные по устойчивости ГМ к ультрафиолету (протоколы испытаний предоставили 42 % участников, 2019–2020 гг.), а также по теплоустойчивости (45 % участников, 2020–2021 гг.) оказались недостаточно информативными.

¹ ГОСТ ISO/IEC 17025–2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. М. : Стандартинформ, 2019. 25 с.

Межлабораторные испытания свидетельствуют о том, что для надежного измерения показателей недостаточно данных одной лаборатории [20]. Участие в межлабораторных сличениях позволяет убедиться в отсутствии проблем с реализацией отдельных методик испытаний. При этом, в соответствии с ГОСТ ISO/IEC 17043–2013², предполагается конфиденциальность информации — результаты испытаний предоставляются в закодированном виде. Таким образом, любая лаборатория способна объективно оценить качество своих результатов по сравнению с итогами аналогичных измерений других организаций, исключая вероятность их идентификации [8, 18–20]. Сопоставление результатов собственных измерений с данными других лабораторий дает возможность обнаружить несоответствия и недостатки, выполнить анализ причин появления отклонений и осуществить корректирующие мероприятия. Главная задача межлабораторных сличений — определение воспроизводимости результатов испытаний, полученных в различных лабораториях, а в случае выхода результатов за пределы нормативов контроля — установление и устранение причин их возникновения.

Очередной цикл межлабораторных испытаний был анонсирован ООО «Автодор-Инжиниринг» 7 октября 2021 г., основные результаты опубликованы 16 мая 2022 г. на официальном сайте компании. К участию в процедуре межлабораторных сличений на добровольной основе приглашались лаборатории производителей дорожно-строительных материалов, научно-исследовательских и подрядных организаций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования — геосинтетический материал, определяемый по ГОСТ Р 55029–2020 как георешетка. Для выполнения параллельных испытаний изготовлены две серии образцов из двух различных рулонов георешетки одной партии, одного изготовителя. Верхние два слоя рулона не использовались для отбора проб. Отобранные пробы заворачивались в упаковочную пленку и хранились в одном месте в соответствии с требованиями завода-изготовителя в условиях, исключающих воздействие прямых солнечных лучей, нагревательных приборов и осадков.

Программой испытаний перед началом проведения тестов предусмотрена выдержка образцов ГМ в течение 24 ч в нормальных климатических условиях: при относительной влажности воздуха $65 \pm 5\%$ и температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Для каждой серии образцов контролировались показатели: прочности при растяжении, относительного удлинения при максимальной нагрузке, морозостойкости материала (30 циклов) и устойчивости к воздействию ультрафиолетового излучения (УФ-излучения). Все показатели определялись в продольном направлении.

Проверка результатов на наличие статистических выбросов осуществлялась на основе критерия Граббса по ГОСТ Р ИСО 5725-2–2002³. Количественная оценка качества результатов испытаний отдельной лаборатории проводилась на основе алгоритма расчета Z-индексов в соответствии с ГОСТ ISO/IEC 17043–2013², ГОСТ Р 50779.60–2017 (ИСО 13528:2015)⁴ и РМГ 103–2010⁵ по формуле:

$$Z_i = \frac{(X_i - X_{pt})}{\sigma_{pt}},$$

где X_i — результат испытаний; X_{pt} — приписанное значение; σ_{pt} — стандартное отклонение для оценки квалификации.

Заключение о качестве результатов испытаний контролируемого материала по каждому определяемому показателю делают на основе сравнения значения $|Z|$ с установленными нормативами контроля: 2,0 и 3,0. При $|Z| \leq 2,0$ качество результатов испытаний считают удовлетворительным, при $2,0 < |Z| \leq 3,0$ качество результатов испытаний признают сомнительным и подлежащим дополнительной проверке; при $|Z| > 3,0$ качество результатов испытаний расценивают как неудовлетворительное.

Оценка качества работы отдельной лаборатории выполняется на основе Z-индексов, полученных этой лабораторией по совокупности всех результатов МСИ. Для каждого участника вычисляют значение Z_k по формуле:

$$Z_k = \sum_{i=1}^n Z_i^2.$$

² ГОСТ ISO/IEC 17043–2013. Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации. М. : Стандартинформ, 2014. 33 с.

³ ГОСТ Р ИСО 5725-2–2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений. М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002. 42 с.

⁴ ГОСТ Р 50779.60–2017 (ИСО 13528:2015). Статистические методы. Применение при проверке квалификации посредством межлабораторных испытаний. М. : Стандартинформ, 2017. 82 с.

⁵ РМГ 103–2010. Государственная система обеспечения единства измерений. Проверка квалификации испытательных (измерительных) лабораторий, осуществляющих испытания веществ, материалов и объектов окружающей среды (по составу и физико-химическим свойствам) посредством межлабораторных сравнительных испытаний. М. : Стандартинформ, 2011. 38 с.

Вывод о качестве работы конкретной лаборатории применительно к испытываемому материалу и контролируемым показателям делают на основе сравнения параметра Z_k с нормативами контроля h_1 и h_2 , принимаемыми по РМГ 103–2010, в зависимости от количества n рассчитанных Z -индексов. При $Z_k \leq h_1$ качество работы испытательной лаборатории считают удовлетворительным, при $h_1 < Z_k \leq h_2$ качество работы лаборатории признают сомнительным, что требует дополнительной проверки. Если параметр Z_k превышает контрольное значение h_2 , то работа лаборатории признается неудовлетворительной.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассчитанные статистические характеристики для соответствующих позиций представлены в табл. 1. Приписанное значение X_{pi} определялось как робастное среднее по результатам участников. Как приписанные значения X_{pi} , так и стандартные отклонения σ_{pi} , по соответствующим измеренным показателям, оказались близки между собой для образцов, изготовленных из разных рулонов георешетки (см. табл. 1). Результаты, отклоняющиеся от приписанного значения на $\pm 3\sigma_{pi}$, не выявлены ни по одному показателю. Статистический выброс на основе теста Граббса наблюдался только у одного участника при испытаниях образца № 2 на относительное удлинение, что свидетельствует о необходимости анализа

причин его появления и целесообразности внесения корректив в испытательный процесс. Квазивыбросы зафиксированы при испытаниях на морозостойкость обеих проб ГМ у одного и того же участника (табл. 2). Это является сигналом для проведения дополнительной проверки.

По факту расчета Z -критерия: неудовлетворительные результаты испытаний не выявлены, общее количество сомнительных значений — 5. Итоговые результаты межлабораторных сличений по всей программе испытаний представлены в табл. 2. Графическое представление Z -критерия, рассчитанного по результатам каждого участника, для каждой позиции показано на рис. 1–6; область удовлетворительных значений ($-2,0 \leq Z \leq 2,0$) ограничена красными линиями.

Сравнение показателя Z_k , рассчитанного для каждого участника по совокупности Z -индексов, с нормативами контроля h_1 и h_2 позволило сделать вывод о качестве работы соответствующей лаборатории. Большинство участников показало удовлетворительное качество работы — 9 лабораторий из 13. Заключение о сомнительном и неудовлетворительном качестве работы получили участники под шифрами 12 и 9 соответственно. Качество работы участников под шифрами 7 и 13 оказалось оценить затруднительно ввиду непредставительности их данных. Фактические результаты оценки качества работы испытательных лабораторий приведены в табл. 3.

Табл. 1. Статистические характеристики для расчета критериев оценки качества результатов испытаний
Table 1. Statistical characteristics for calculating criteria for evaluating the quality of test results

Наименование показателя Parameter name	Образец № 1 Sample No. 1		Образец № 2 Sample No. 2	
	X_{pi}	σ_{pi}	X_{pi}	σ_{pi}
Прочность при растяжении в продольном направлении T_{n1} , кН/м, по ГОСТ Р 55030–2012 Tensile strength in the longitudinal direction T_{n1} , kN/m, according to GOST R 55030–2012	91,5	8,98	90,9	6,69
Относительное удлинение при максимальной нагрузке в продольном направлении, %, по ГОСТ Р 55030–2012 Relative elongation at maximum load in the longitudinal direction, %, according to GOST R 55030–2012	13,7	2,67	13,4	2,36
Показатель морозостойкости материала (30 циклов) в продольном направлении, %, по ГОСТ Р 55032–2012 Frost resistance index of the material (30 cycles) in the longitudinal direction, %, according to GOST R 55032–2012	98,8	5,83	99,2	5,96
Показатель устойчивости к воздействию УФ-излучения в продольном направлении, %, по ГОСТ Р 55031–2012 Index of resistance to UV radiation in the longitudinal direction, %, according to GOST R 55031–2012	96,2	5,69	97,6	5,02

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 18. Выпуск 8, 2023
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 18. Issue 8, 2023

Табл. 2. Итоги межлабораторных сличений
Table 2. Results of interlaboratory comparisons

Номер показателя в соответствии с табл. 1 Parameter number according to Table 1	1		2		3		4	
Номер образца Sample number	1	2	1	2	1	2	1	2
Максимальное значение $ Z $ Maximum value of $ Z $	1,73	2,17	2,11	2,63	2,28	2,16	1,14	0,71
Количество участников, получивших удовлетворительные результаты: $ Z \leq 2,0$ Number of participants who received satisfactory results: $ Z \leq 2.0$	13	9	11	9	8	7	3	2
Количество участников, получивших сомнительные результаты: $2,0 < Z \leq 3,0$ Number of participants who received questionable results: $2.0 < Z \leq 3.0$	0	1	1	1	1	1	0	0
Количество участников, получивших неудовлетворительные результаты: $ Z > 3,0$ Number of participants who received unsatisfactory results: $ Z > 3.0$	0	0	0	0	0	0	0	0
Выброс на основе теста Граббса, 1 % Statistical outlier based on the Grubbs test, 1 %	0	0	0	1	0	0	0	—
Выброс на основе теста Граббса, 5 % Outlier based on the Grubbs test, 5 %	0	0	0	1	1	1	0	—
Доля участников, показавших удовлетворительные результаты, % Percentage of participants who showed satisfactory results, %	100	90,0	91,7	90,0	88,9	87,5	100	100



Рис. 1. График Z-критерия для прочности при растяжении в продольном направлении $T_{\text{н}}$ геосинтетического материала. Образец № 1

Fig. 1. Graph of Z-score for tensile strength in the longitudinal direction of geosynthetic material. Sample No. 1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В межлабораторных испытаниях 2021–2022 гг. по направлению геосинтетические материалы приняли участие 13 лабораторий, что в среднем в 1,5–2 раза ниже, чем количество участников в испытаниях дру-

гих дорожно-строительных материалов [20]. По совокупности результатов испытаний качество работы испытательных лабораторий может быть признано удовлетворительным у 9 участников (69 % от общего числа). Сомнительное качество работы лаборатории

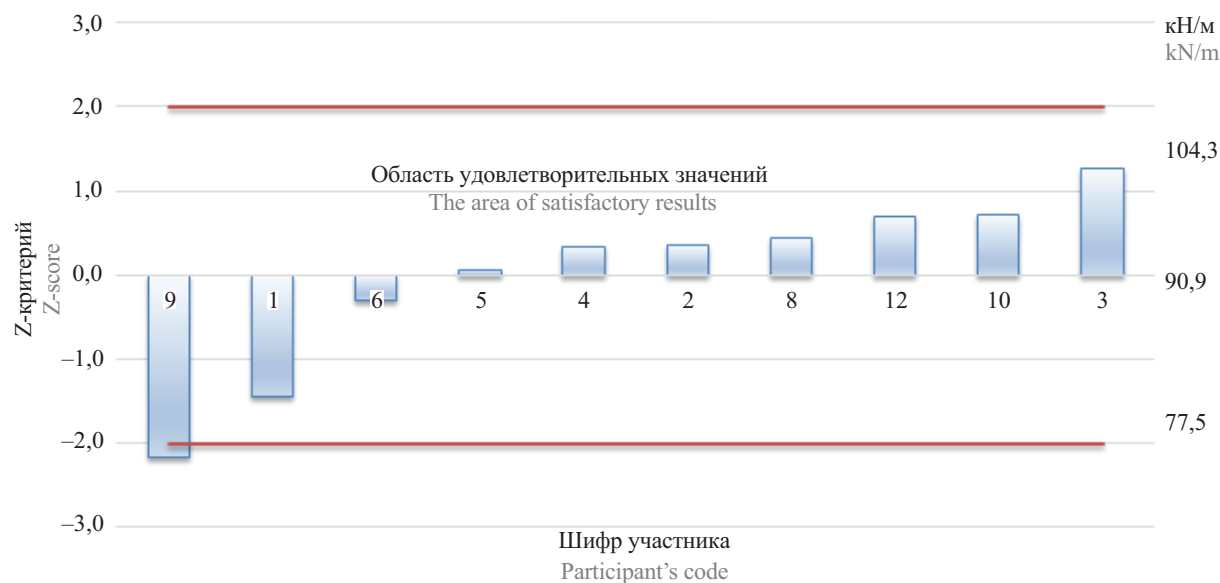


Рис. 2. График Z-критерия для прочности при растяжении в продольном направлении $T_{\text{пл}}$ геосинтетического материала. Образец № 2

Fig. 2. Graph of Z-score for tensile strength in the longitudinal direction of geosynthetic material. Sample No. 2



Рис. 3. График Z-критерия для относительного удлинения геосинтетического материала при максимальной нагрузке в продольном направлении. Образец № 1

Fig. 3. Graph of Z-score for the relative elongation of geosynthetic material at maximum load in the longitudinal direction. Sample No. 1

показал один участник, что свидетельствует о необходимости дополнительной проверки его работы. У одной лаборатории качество работы признано неудовлетворительным, что требует проведения неотложных корректирующих мероприятий. Оценить работу еще двух лабораторий не представилось возможным, поскольку эти участники выполнили незначительную часть программы межлабораторных испытаний. Таким образом, в очередной раз подтверждается тезис о том, что качественная оценка дорожно-строительных материалов не может осуществляться на основе сведений одной отдельно взятой лаборатории.

В разрезе определения физико-механических характеристик представительные данные получены по большинству показателей — 75 %. Как и ожидалось, наименее репрезентативными оказались сведения по устойчивости ГМ к воздействию УФ-излучения: протоколы испытаний по образцу № 1 предоставили 3, а по образцу № 2 – 2 лаборатории, что соответственно составляет 23 и 15 % от общего числа участников.

Доля удовлетворительных результатов в разрезе параметров по текущему циклу межлабораторных сличений ГМ составляет 87,5–100 %. Неудовлетворительные данные в разрезе параметров

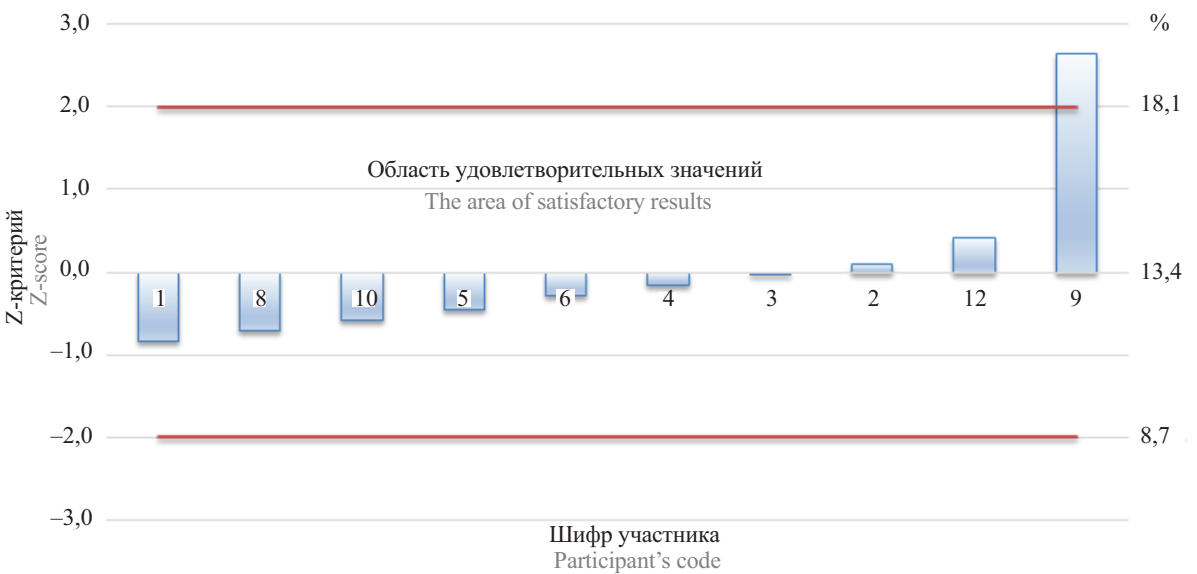


Рис. 4. График Z-критерия для относительного удлинения геосинтетического материала при максимальной нагрузке в продольном направлении. Образец № 2

Fig. 4. Graph of Z-score for the relative elongation of geosynthetic material at maximum load in the longitudinal direction. Sample No. 2



Рис. 5. График Z-критерия для показателя морозостойкости геосинтетического материала (30 циклов) в продольном направлении. Образец № 1

Fig. 5. Graph of Z-score for the frost resistance index of geosynthetic material (30 cycles) in the longitudinal direction. Sample No. 1

не выявлены. Наличие сомнительных результатов не превышает одного по отдельно взятым показателям; общее их количество по всем показателям — 5. Эти проявления могут быть обусловлены состоянием применяемого оборудования и наличием его калибровки, параметрами окружающей среды (температура, влажность), условиями хранения образцов и соблюдением порядка пробоподготовки в испыта-

тельной лаборатории, нечетким выполнением условий измерений, человеческим фактором и др.

В целях повышения качества ГМ и совершенствования методов испытания представляется целесообразным нормировать требования к коэффициенту вариации, сходимости и воспроизводимости контролируемых показателей.

Табл. 3. Результаты оценки качества работы участников

Table 3. Results of the evaluation of the quality of the participants' work

Шифр участника Participant's code	Z_k	Число Z-индексов Number of Z-scores	Нормативы контроля Acceptability constants		Заключение о качестве работы участника Conclusion on the quality of the participant's work
			h_1	h_2	
1	4,95	6	12,6	22,5	Удовлетворительное Satisfactory
2	0,49	6	12,6	22,5	Удовлетворительное Satisfactory
3	2,63	4	9,5	18,5	Удовлетворительное Satisfactory
4	5,24	7	14,1	24,3	Удовлетворительное Satisfactory
5	1,12	6	12,6	22,5	Удовлетворительное Satisfactory
6	2,05	8	15,5	26,1	Удовлетворительное Satisfactory
7	2,21	1	—	—	Нет возможности произвести оценку There is no way to make an assessment
8	4,60	8	15,5	26,1	Удовлетворительное Satisfactory
9	19,92	4	9,5	18,5	Неудовлетворительное Unsatisfactory
10	2,14	6	12,6	22,5	Удовлетворительное Satisfactory
11	0,17	3	7,8	16,3	Удовлетворительное Satisfactory
12	13,12	6	12,6	22,5	Сомнительное Questionable
13	7,35	2	—	—	Нет возможности произвести оценку There is no way to make an assessment



Рис. 6. График Z-критерия для показателя морозостойкости геосинтетического материала (30 циклов) в продольном направлении. Образец № 2

Fig. 6. Graph of Z-score for the frost resistance index of geosynthetic material (30 cycles) in the longitudinal direction. Sample No. 1

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Skrzypczak I., Leśniak A., Ochab P., Górka M., Kokoszka W., Sikora A. Interlaboratory comparative tests in ready-mixed concrete quality assessment // *Materials*. 2021. Vol. 14. Issue 13. P. 3475. DOI: 10.3390/ma14133475
2. Ефремова Н.Ю., Макаревич В.И., Миранович-Качур С.А., Гайдук М.В. Что такое проверка квалификации и для чего она нужна? Организация и проведение программ проверок квалификации в Республике Беларусь // *Стандартные образцы*. 2013. № 2. С. 71–87. EDN QIOMBN.
3. Чепкова И.Ф., Крейнин С.В., Пономарева О.И. Межлабораторные сравнительные (сличительные) испытания как доказательная база компетентности лабораторий // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2018. Т. 84. № 2. С. 70–72. DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-2-70-72
4. Шаталов К.В., Сорокова И.И. Межлабораторные сравнительные испытания нефтепродуктов в испытательных лабораториях Минобороны России // *Вестник МИТХТ*. 2014. Т. 9. № 2. С. 104–111. EDN SCJVBV.
5. Scott E.M., Karkness D.D., Cooks G.T. Interlaboratory Comparisons: Lessons Learned // *Radiocarbon*. 1997. Vol. 40. Issue 1. Pp. 331–340. DOI: 10.1017/s0033822200018208
6. Бахур А.Е., Овсянникова Т.М., Зуев Д.М., Мартынюк Ю.Н. Некоторые вопросы межлабораторных сравнительных испытаний по определению суммарных альфа- и бета-активностей питьевых вод // *АНРИ*. 2013. № 3 (74). С. 13–18. EDN RAEIRN.
7. Ожогина Е.Г. Современные проблемы и перспективы развития технологической минералогии // *Разведка и охрана недр*. 2018. № 10. С. 3–6. EDN VCEYVB.
8. Ожогина Е.Г., Лебедева М.И., Горбатова Е.А. Межлабораторные сравнительные испытания в минералогических работах // *Эталоны. Стандартные образцы*. 2017. Т. 13. № 2. С. 37–47. DOI: 10.20915/2077-1177-2017-13-2-37-47
9. Пащенко А.И., Ильина Е.А. Применение межлабораторных сравнительных испытаний при оценке и подтверждении технической компетентности лаборатории // *Разведка и охрана недр*. 2013. № 9. С. 49–51. EDN RBTKAH.
10. Колпакова Е.К., Хузагалеева Р.К., Степановских В.В. Межлабораторные сравнительные испытания металлургических материалов // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2018. Т. 84. № 1 (II). С. 23–27. DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-1(II)-23-27
11. Бородіна Я.В. Метрологічна атестація галузевих стандартних зразків ґрунтів // *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. № 82. С. 6–13.
12. Трубачева Л.В., Лоханина С.Ю. Межлабораторные сравнительные испытания как средство подтверждения технической компетентности лабораторий Удмуртской Республики, проводящих испытания нефти // *Вестник Удмуртского университета*. 2011. № 1. С. 99–110.
13. Дмитриев В.В., Ярз Л.А. Методы и качество лабораторного изучения грунтов : учебное пособие. М. : КДУ, 2008. 542 с.
14. Дмитриев В.В. Оптимизация лабораторных инженерно-геологических исследований. М. : Недра, 1989. 183 с.
15. Ванькова Н.Р. О современном состоянии метрологического обеспечения физико-механических испытаний строительных материалов // *Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика*. 2022. № 2 (46). С. 22–33. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.02.03 EDN MKTSFI.
16. Васильев Ю.Э., Шляфер В.Л., Козик П.В., Маринич С.А., Матвеевич С.А. Регулярные межлабораторные испытания // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2006. № 2 (37). С. 6–7. EDN PYCZNP.
17. Васильев Ю.Э., Котлярский Э.В., Кочнев В.И., Менькина У.О., Сарычев И.Ю., Талалай В.В. и др. Межлабораторные совместные оценочные эксперименты по испытанию нефтяного дорожного битума и асфальтобетонных смесей. 2-е изд., перераб. и доп. М. : ООО «Техполиграфцентр», 2020. 258 с.
18. Козлов А.В., Кузин К.А., Рамеев Д.Ф. Оценка достоверности результатов межлабораторных испытаний битумных вяжущих // *Обеспечение качества, безопасности и экономичности строительства. Практика. Проблемы. Перспективы. Инновации : мат. Второй совместной науч.-практ. конф. ГБУ «ЦЭИИС» и ИПРИМ РАН*. 2020. С. 190–197.
19. Кузин К.А., Селезнев К.А. ООО «Автодор-Инжиниринг»: опыт проведения межлабораторных сравнительных испытаний (МСИ) // *Автомобильные дороги*. 2021. № 6. С. 29–32.
20. Еремеев В.В., Кузин К.А., Козлов А.В., Селезнев К.А. Практика межлабораторных сравнительных испытаний дорожно-строительных материалов // *Дороги. Инновации в строительстве*. 2021. № 98. С. 32–37.
21. Могильный К.В., Кузин К.А., Селезнев К.А. Межлабораторные сравнительные испытания — гарант обеспечения качества работы лаборатории // *Дорожная держава*. 2022. № 111. С. 3–5.

Поступила в редакцию 23 декабря 2023 г.

Принята в доработанном виде 22 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 7 июля 2023 г.

ОБ АВТОРЕ: **Андрей Владимирович Козлов** — кандидат технических наук, начальник нормативно-технического отдела; **Автотор-Инжиниринг**; 127006, г. Москва, Страстной б-р, д. 9; РИНЦ ID: 80360; A.Kozlov@avtodor-eng.ru.

REFERENCES

1. Skrzypczak I., Leśniak A., Ochab P., Górka M., Kokoszka W., Sikora A. Interlaboratory comparative tests in ready-mixed concrete quality assessment. *Materials*. 2021; 14(13):3475. DOI: 10.3390/ma14133475
2. Efremova N.Y., Makarevich V.I., Miranovich-Kachur S.A., Gaiduk M.V. What does proficiency testing mean and what is it for? Design and operation of proficiency testing schemes in Republic of Belarus. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2013; 2:71-87. EDN QIOMBN. (rus.).
3. Kreynin S.V., Kreynin S.V., Ponomareva O.I. Interlaboratory comparisons as evidence base for the competence of laboratories. *Industrial laboratory. Diagnostics of materials*. 2018; 84(2):70-72. DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-2-70-72 (rus.).
4. Shatalov K.V., Sorokovova I.I. Inter-laboratory comparative testing of petroleum products in test laboratories of Russian Defense Ministry. *Vestnik MITHT*. 2014; 9(2):104-111. EDN SCJVB. (rus.).
5. Scott E.M., Karkness D.D., Cooks G.T. Interlaboratory Comparisons: Lessons Learned. *Radiocarbon*. 1997; 40(1):331-340. DOI: 10.1017/s0033822200018208
6. Bakhur A., Ovsiannikova T., Zuev D., Martynyuk Yu. The concerns of the inter-laboratory comparison for the measurement of gross alpha and beta-activity concentrations in drinking water. *ANRI*. 2013; 3(74):13-18. EDN RAEIRN. (rus.).
7. Ozhogina E.G. Modern problems and prospects of development of technological mineralogy. *Prospect and protection of mineral resources*. 2018; 10:3-6. EDN VCEYVB. (rus.).
8. Ozhogina E.G., Lebedeva M.I., Gorbatoeva E.A. Interlaboratory comparison tests in mineralogical works. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2017; 13(2):37-47. DOI: 10.20915/2077-1177-2017-13-2-37-47 (rus.).
9. Pashchenko A.I., Ilyina E.A. The use of interlaboratory comparative tests in assessing and confirming the technical competence of the laboratory. *Prospect and protection of mineral resources*. 2013; 9:49-51. EDN RBTKAH. (rus.).
10. Kolpakova E.K., Khuzagaleeva R.K., Stepanovskikh V.V. Interlaboratory comparative tests of metallurgical materials. *Industrial laboratory. Diagnostics of materials*. 2018; 84(1(II)):23-27. DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-1(II)-23-27 (rus.).
11. Borodina Ya.V. Metrological certification of industry reference materials of soil. *Agrochemistry and Soil Science*. 2015; 82:6-13.
12. Trubacheva L.V., Lokhanina S.Yu. Interlaboratory comparison tests (ICT) as a way of verification for technical competence of Udmurt republic laboratories conducting oil tests. *Bulletin of the Udmurt University*. 2011; 1:99-110. (rus.).
13. Dmitriev V.V., Yarg L.A. *Methods and quality of laboratory soil study : textbook*. Moscow, KDU Publ., 2008; 542. (rus.).
14. Dmitriev V.V. *Optimization of laboratory engineering and geological research*. Moscow, Nedra Publ., 1989; 183. (rus.).
15. Vankova N. On the current state of metrological support for physical and mechanical testing of building materials. *PNRPU Bulletin. Urban development*. 2022; 2(46):22-33. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.02.03. EDN MKTSFI. (rus.).
16. Vasil'ev Yu.E., Shlyafar V.L., Kozik P.V., Marinich S.A., Matveevich S.A. Regular interlaboratory tests. *Science & Engineering for Roads*. 2006; 2(37):6-7. EDN: PYCZNP. (rus.).
17. Vasiliev Yu.E., Kotlyarsky E.V., Kochnev V.I., Menkina U.O., Sarychev I.Yu., T-alalay V.V. et al. *Interlaboratory joint evaluation experiments for testing petroleum road bitumen and asphalt concrete mixtures*. Moscow, LLC "Techpoligrafsentr" Publ., 2020; 258. (rus.).
18. Kozlov A.V., Kuzin K.A., Rameev D.F. Assessment of the reliability of the results of interlaboratory tests of bitumen binders. *Ensuring the quality, safety and cost-effectiveness of construction. Practice. Problems. The prospects. Innovations : Materials of the second joint scientific and practical conference of State Budgetary Institution of the City of Moscow "Center for Expertise, Research and Testing in Construction" and Institute of Applied Mechanics of Russian Academy of Sciences*. 2020; 190-197. (rus.).
19. Kuzin K.A., Seleznev K.A. Avtodor-Engineering LLC: experience in conducting interlaboratory comparative tests (ICT). *Automobile roads*. 2021; 6:29-32. (rus.).
20. Ereemeev V.V., Kuzin K.A., Kozlov A.V., Seleznev K.A. Practice of interlaboratory comparative tests of road-building materials. *Roads. Innovations in construction*. 2021; 98:32-37. (rus.).
21. Mogil'ny K.V., Kuzin K.A., Seleznev K.A. Interlaboratory comparative tests are the guarantor of ensuring the quality of laboratory work. *Road Power*. 2022; 111:3-5. (rus.).

Received December 23, 2023.

Adopted in revised form on May 22, 2023.

Approved for publication on July 7, 2023.

B I O N O T E S: **Andrey V. Kozlov** — Candidate of Technical Sciences, Head of the Regulatory and Technical Department; **Avtodor-Engineering**; 9 Strastnoy boulevard, 127006, Moscow, Russian Federation; ID RSCI: 80360; A.Kozlov@avtodor-eng.ru.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 691.335

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1241-1250

Влияние минеральных порошков на свойства вяжущих систем

Мадина Шахидовна Саламанова^{1,2}, Магомед Рамзанович Нахаев³¹ Грозненский государственный нефтяной технический университет

имени академика М.Д. Миллионщикова (ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова); г. Грозный, Россия;

² Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук;
г. Грозный, Россия;³ Чеченский государственный университет имени А.А. Кадырова; г. Грозный, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Разработка рецептур многокомпонентных вяжущих композиций с использованием минеральных добавок различной природы является актуальной задачей. Многокомпонентные вяжущие связки «портландцемент – минеральная добавка», «портландцемент – минеральная добавка – пластификатор» позволят расширить ассортимент линейки вяжущих, найти экономное практическое применение ресурсоемкому материалу, снизить расход энергетических затрат на высокотемпературную обработку, и все это не в ущерб эксплуатационным показателям бетона и железобетона.

Материалы и методы. Согласно нормативно-техническим документам ГОСТ 31108, ГОСТ 20515 рекомендуется использовать в качестве компонента вяжущих систем тонкодисперсные добавки как природного, так техногенного происхождения, не оказывающие вредного влияния на свойства цементного теста и камня.

Результаты. Представлены топологические модели многокомпонентной вяжущей системы, отличающиеся в зависимости от природы и гранулометрии минерального порошка наполнителя. На основании проведенных исследований приведены модели диффузионной межфазовой зоны цементного камня, состоящей из прореагировавшей клинкерной и минеральных составляющих; пограничные слои которых отличаются присутствием в составе новообразований гидратных силикатов кальция и микропор различной конфигурации. Качественный состав пограничной межфазовой зоны определяется природой и реакционной способностью наполнителя.

Выводы. Анализ результатов показал, что соответствующий химико-минералогический состав, наличие ионообменных центров и высокий коэффициент активности способствуют повышению реакционной способности минеральных добавок, что важно для создания прочной вяжущей наполненной связки, необходимой для организации монолитного высотного строительства с конструктивными элементами сложной герметической конфигурации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: минеральный порошок, бетонный брак, многокомпонентное вяжущее, топологическая модель, межфазовая зона, пограничный слой, активная добавка

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р. Влияние минеральных порошков на свойства вяжущих систем // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 8. С. 1241–1250. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1241-1250

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

Influence of mineral powders on the properties of binding systems

Madina Sh. Salamanova^{1,2}, Magomed R. Nakhaev³¹ Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshchikov (GSOTU named after academician M.D. Millionshchikov); Grozny, Russian Federation;² Complex Research Institute named after Kh.I. Ibragimov of the Russian Academy of Sciences;
Grozny, Russian Federation;³ Chechen State University named after A.A. Kadyrov; Grozny, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Development of formulations of multicomponent binder compositions with the use of mineral additives of different nature is an urgent task. Multicomponent binders, "Portland cement – mineral additive", "Portland cement – mineral additive – plasticizer" allow to expand the range of binders, to find economical practical application of resource-intensive material, to reduce energy consumption for high-temperature processing, and all this not to the detriment of the operational indicators of concrete and reinforced concrete.

Materials and methods. According to the regulatory and technical documents GOST 31108, GOST 20515, it is recommended to use finely dispersed additives of both natural and anthropogenic origin as a component of binding systems, which do not have a harmful effect on the properties of cement paste and stone.

Results. Topological models of multicomponent binder system, which differ depending on the nature and granulometry of mineral powder. On the basis of the conducted researches, the models of the diffusion interphase zone of cement

stone, consisting of reacted clinker and mineral components, are presented; the boundary layers of which are characterized by the presence of calcium hydrate silicates and micropores of different configuration in the composition of neoplasms. The qualitative composition of the boundary interphase zone is determined by the nature and reactivity of the filler.

Conclusions. The analysis of the results showed that the appropriate chemical and mineralogical composition, the presence of ion-exchange centers and high activity coefficient contribute to an increase in the reactivity of mineral additives, which is important for the creation of strong binder, necessary for the organization of monolithic high-rise construction with structural elements of complex hermetic configuration.

KEYWORDS: mineral powder, defective concrete, multicomponent binder, topological model, interphase zone, boundary layer, active additive

FOR CITATION: Salamanova M.Sh., Nakhaev M.R. Influence of mineral powders on the properties of binding systems. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1241-1250. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1241-1250 (rus.).

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

ВВЕДЕНИЕ

Производство самого востребованного и незаменимого в строительстве материала — портландцемента (ПЦ) связано с огромным потреблением природного и энергетического ресурса, непоправимым негативным воздействием на окружающую среду [1, 2]. Научное сообщество рассматривает замену карбонатной технологии и разработку альтернативного вяжущего, позволяющего отказаться полностью или частично от дорогого и экологически вредного продукта. Поэтому создание рецептур многокомпонентных вяжущих композиций с использованием минеральных добавок (МД) различной природы является актуальной и перспективной задачей. Разработка многокомпонентных вяжущих составов «портландцемент — минеральная добавка», «портландцемент — минеральная добавка — пластификатор» позволит расширить ассортимент, найти экономное практическое применение ресурсоемкому материалу, снизить расход энергозатрат на высокотемпературную обработку, и все это не в ущерб эксплуатационным показателям бетона и железобетона. Синтезом многокомпонентных вяжущих занимались многие известные ученые, полученные результаты подтверждают эффективность и уникальность данного материала, ведь полученные композиции отличались повышенной водостойкостью, низкой экзотермичностью, высокой прочностью и долговечностью, и все это благодаря активным составляющим МД, связывающим гидролизную известь в гидратные соединения труднорастворимых силикатов кальция различной основности [1–8].

Активными минеральными добавками (АМД) пользовались строители еще в древние времена за 2600–3000 лет до н. э., тонкоизмельченные горные породы пытались обжигать и добавлять в строительную воздушную известь и гипс. Примерами могут служить бетонная галерея легендарного лабиринта в Древнем Египте, фундаменты сооружений в Мексике, Великая Китайская стена, римский Пантеон, и это только некоторые уникальные постройки, сохранившиеся до наших дней. Добавляя в известковые растворы обожженную молотую глину, вулканический пепел и туф, глиежи и опоку, повышали водостойкость и прочность изделий.

Нормативный документ ГОСТ 31108 рекомендует использовать в качестве компонента вяжущих следующие тонкодисперсные добавки: доменный шлак черной металлургии, золу уноса, вулканические породы, микрокремнезем, глиежи и обожженные сланцы, известняк, кварцевые пески, доломит, не оказывающие вредного влияния на свойства цементного теста и камня. ГОСТ 20515 дает разъяснения терминологии АМД по реакционной активности:

- пуццолановые, способные в тонкодисперсном состоянии в присутствии окиси кальция проявлять гидравлические свойства;
- гидравлические, способные в тонкодисперсном состоянии при затворении водой после предварительного твердения на воздухе или без него продолжать твердеть в воде и на воздухе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Классификация МД техногенной природы, предложенная комитетом 73–SBC RILEM, выделяет следующие виды наполнителей:

- доменные гранулированные шлаки, обладающие вяжущими свойствами, содержат значительное количество стекловидной фазы (до 90–95 %), имеющей в своей структуре ионы кремния, кальция, магния и алюминия;
- высококальциевая зола уноса характеризуется вяжущими и пуццолановыми свойствами, содержит в своем составе 70–80 % стекловидной фазы, имеющей в структуре ионы кальция, магния и алюминия; а также содержит свободную известь, периклаз, кварц и углерод < 2 %;
- микрокремнезем, обладающий высокими пуццолановыми свойствами, некристаллической структурой, с присутствием аморфной субстанции;
- низкокальциевая зола уноса с присутствием оксида кальция < 10 % обладает пуццолановыми свойствами, химико-минералогический состав характеризуется стекловидной фазой, содержащей ионы алюминия и железа, кристаллы кварца, муллита, магнезита, углерода до 5–10 %.

Приведенная классификация характеризует пуццолановую активность минеральных компонентов, ее влияние на свойства и структуру сформированного цементного камня (ЦК). Природные АМД

(обожженные каолининовые глины, опока, глиежи, вулканический пепел, туф, диатомиты) также обладают высокой пуццолановой активностью, которая определяется термодинамической нестабильностью реакционноспособных аморфных фаз [5, 6]. Использование такого технологического приема для получения многокомпонентных систем, как механоактивация или механохимическая активация вяжущего и природных добавок, позволит кардинально изменять свойства строительных композитов, открывая новые возможности, это:

- повышение стойкости к истиранию;
- снижение расхода ПЦ до 200–460 кг/м³;
- прирост прочности до 60–80 МПа и более, это касается и мелкозернистых бетонов;
- получение высокой ранней прочности в условиях естественного твердения;
- повышение подвижности бетонной смеси до ПЗ и П4, не ухудшая связность;
- увеличение антикоррозионной стойкости, непроницаемости и сульфатостойкости;
- достижение морозостойкости марок F200–F600 и более со специальными добавками.

Для проведения экспериментальных исследований были приготовлены минеральные порошки, полученные тонким измельчением природных горных пород и бетонного производственного брака. Остатки производственного бетонного лома скапливаются на территории завода с последующим вывозом на свалки, но, учитывая высокий класс проектного бетона В40, необходимо как с экологической, так и с технической стороны найти применение непрореагировавшей части клинкерного фонда в этом материале. В качестве природных добавок исследовались достаточно распространенные в регионе породы, такие как высококварцевые пески, вулканический пепел и опока. Механическую активацию осуществляли на протяжении 60 мин в лабораторной трубной вибромельнице ВМ–20. Для выявления зависимости удельной поверхности минеральных порошков от продолжительности измельчения пробы полученных добавок изучались на приборе ПСХ–12 (диапазон измерений составил 200–50 000 см²/г). Измельчение в трубной вибромельнице привело к получению минеральных порошков высокой степени дисперсности, о чем свидетельствуют числовые значения удельных поверхностей на всех промежутках отбора проб.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Механоактивированные добавки, обладающие определенной долей аморфной фазы при гидратном контакте с прочными и твердыми минералами цементного клинкера, в диффузионной межфазовой зоне располагают свойствами, схожими со свойствами вяжущего материала, образуя в итоге надежный и гарантированный структурный каркас затвердевшего ЦК [7–9]. Результаты исследований [10–14] установлено, что в многокомпонентной вяжущей системе с использованием тонкодисперсных АМД в процессе гидратации мельчайшие частички, адсорбируя воду, заполняют прослойки между более крупными частицами ПЦ, создавая тем самым более вязкопластичную среду, в сравнении со связкой «портландцемент – вода», способную к образованию равновесия «уменьшение объема свободной воды в среде – увеличение количества слабых коагуляционных контактов». В начальный период особого влияния химико-минералогический состав микронаполнителя не сказывается на процессе структурообразования из-за незначительности объема новообразований, но в последующем происходит нарушение равновесия в сторону формирования более стабильных мелкокристаллических кристаллогидратов низкоосновных гидросиликатов кальция C–S–H (I).

Изучению процессов гидратации в наполненных цементных системах посвящено много работ [13–18], результаты исследований подтверждают, что тонкодисперсные минеральные порошки в большей мере взаимодействуют с минералами вяжущих и в зонах диффузионного контакта образуются гидратные новообразования смешанного состава. Механизм взаимодействия компонентов вяжущей системы можно охарактеризовать в виде моделей, представленных на рис. 1.

Рассматривая все возможные варианты вяжущих, следует выделить композиционные гипсовые системы, в которых ключевую роль выполняют кристаллогидраты двуводного сульфата кальция, а микрзерна минерального порошка заполняют поровое пространство, улучшая структуру камня, делая ее более плотной и прочной [19, 20].

На морфологический состав и структуру новообразований в диффузионной зоне и пограничном слое наполнителя влияют различные факторы,

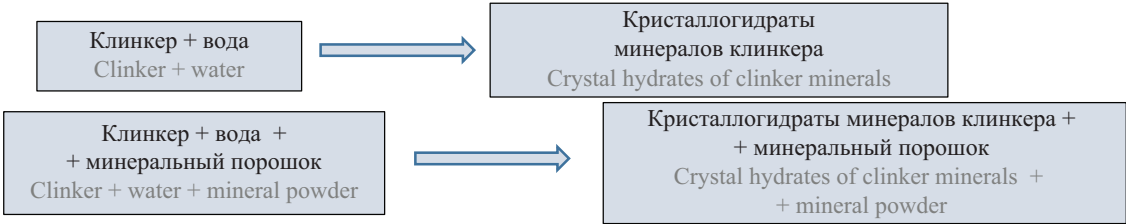


Рис. 1. Механизм взаимодействия компонентов вяжущей системы
Fig. 1. The mechanism of interaction between the components of the binding system

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 18. Выпуск 8, 2023
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 18. Issue 8, 2023

но структуроопределяющими можно считать природу основного вяжущего, степень его дисперсности и соответственно минерального порошка. Если рассмотреть модель структуры в пограничной зоне адгезии ЦК на основе известково-кремнеземистого вяжущего, то следует отметить изменчивость в составе новообразований (рис. 2). И связано это с более сложным процессом структурообразования, зависящим в значительной степени от условий протекания химического взаимодействия, к тому же надо рассматривать такие факторы, как твердость минерала порошка, удельная поверхность, продолжительность теплового воздействия и др. В известково-кремнеземистом вяжущем, если использовать в качестве кремнеземистого компонента плотные кварцевые породы высокой степени дисперсности, то это способствует повышению растворимости кремнезема в условиях воздействия высоких температур и давления, насыщенного водяного пара. Именно гидротермальная (автоклавная) обработка создает соответствующую атмосферу для увеличения контактной межфазовой зоны и синтеза в пограничном слое соединений типа C–S–H (I) гидросиликатов кальция низкой основности. Если в качестве кремнеземистого компонента применять породы пористой органогенной структуры с определенной долей аморфной составляющей, такие как диатомит, опока, трепел, то состав новообразований в пограничной межфазовой зоне будет представлен тоберморитподобными соединениями, образованными химическим взаимодействием активного кремнезема и гидроксида кальция [14].

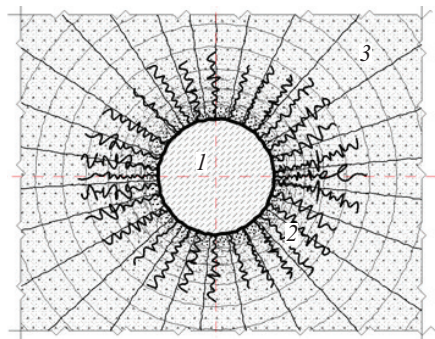


Рис. 2. Модель межфазовой пограничной зоны в известково-кремнеземистых композициях: 1 — частицы кварцевой муки; 2 — пограничный слой в виде геля SH + CSH; 3 — объемная фаза извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Fig. 2. Model of interphase boundary zone in lime-silica compositions: 1 — particles of quartz flour; 2 — boundary layer in the form of SH + CSH gel; 3 — bulk phase of lime $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Таким образом, важность применения МД — порошков не вызывает сомнений, в зависимости от происхождения основополагающих минералов наполнителя можно выделить следующие функции этого компонента:

- заполнитель ЦК по В.Н. Юнгу — микробетон;
- химически контактирует с минералами вяжущего в присутствии воды с образованием кристаллогидратов;

- кристаллическая затравка для частиц вяжущего, используемая при совместном тонком измельчении с цементом, активизируя обменные центры.

Для визуального восприятия предлагается модель наполненной системы (рис. 3), в которой частицы минерального порошка не вступают во взаимодействие с зернами ПЦ, явно наблюдается значительная разница в размерах частиц наполнителя и цемента [4].

Топологическая модель вяжущей системы, наполненной активным минеральным порошком полидисперсной гранулометрии (рис. 4), представлена диффузионной межфазовой зоной, состоящей из прореагировавшей клинкерной и минеральных составляющих; пограничные слои отличаются присутствием в составе новообразований гидратных силикатов кальция и микропор различной конфигурации. Качественный состав пограничной межфазовой зоны определяется природой и реакционной способностью наполнителя. Наполнение цементной системы минеральным порошком из осадочных карбонатных пород, таких как известняк, мел, доломит, ракушечник, магнезит, в процессе гидратации способствует синтезу соединений типа гидрокарбонаты кальция и магния $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ соответственно. Введение в систему тонкодисперсных алюмосиликатных порошков позволит получать гидрокарбоалюмосиликаты $4\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{CO}_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ и гидрокарбоалюминаты $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{CO}_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ кальция [14].

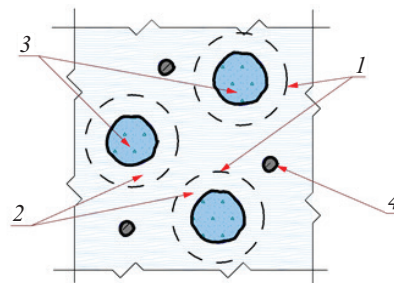


Рис. 3. Модель наполненной системы: 1 — зерна клинкера; 2 — прореагировавшая межфазная зона; 3 — непрореагировавшая часть клинкера; 4 — частички минерального порошка

Fig. 3. Model of the filled system: 1 — clinker grains; 2 — reacted interfacial zone; 3 — unreacted part of clinker; 4 — mineral powder particles

Топологическая модель вяжущей системы, наполненной тонкодисперсным активным порошком с размерностью микрочастиц от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-9}$ м (рис. 5), характеризуется тем, что микрочастицы поглощаются в процессе гидратационного взаимодей-

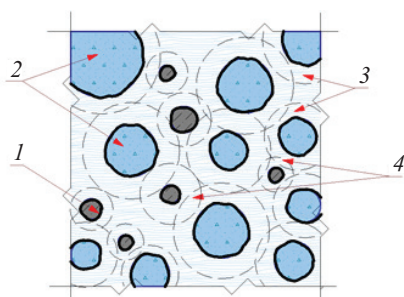


Рис. 4. Модель наполненной полидисперсным порошком вяжущей системы: 1, 2 — непрореагировавшие части зерен клинкера и порошка; 3 — прореагировавшая часть зерна клинкера; 4 — межфазовая зона вяжущего и наполнителя

Fig. 4. Model of binder system filled with polydisperse powder: 1, 2 — unreacted parts of clinker grains and powder; 3 — reacted part of clinker grains; 4 — interphase zone of binder and filler

ствия частицами ПЦ, повышая тем самым содержание и дисперсность кристаллогидратов C–S–H на гелиевом и кристаллическом уровнях. Тонкодисперсные активные частицы, благодаря высокой поверхностной энергии, впадают в межкристаллизационные и внутрикристаллизационные поры, что приводит к возрастанию адгезионной прочности между частицами, плотности геля, снижая усадочные деформации и склонность к микродефектам и трещинам. Микрочастицы активного порошка практически

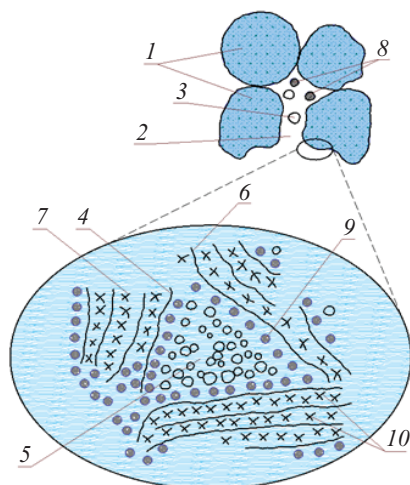


Рис. 5. Модель межфазового геля C–S–H с использованием тонкодисперсных активных порошков: 1 — участок (область) геля; 2, 4 — плотный контакт; 3 — поры между частицами; 5 — внутрикристаллизационные поры; 6 — водная прослойка; 7 — междукристаллизационная пора; 8–10 — активные частицы тонкодисперсного порошка размерами $(2-200) \cdot 10^{-9}$ м

Fig. 5. Model of C–S–H interphase gel using fine dispersed active powders: 1 — gel phase; 2, 4 — tight contact; 3 — pores between particles; 5 — intracrystallization pores; 6 — water layer; 7 — intercrystallization pore; 8–10 — active particles of fine powder with dimensions $(2-200) \cdot 10^{-9}$ m

полностью химически реагируют с клинкерными минералами с образованием труднорастворимых соединений типа C–S–H (I), C–A–H, C–F–H.

Проведенный анализ результатов исследований по разработке многокомпонентных вяжущих систем «портландцемент – минеральный порошок» подтвердил эффективность данного направления, существующие теоретические и практические основы формирования структуры и свойств наполненных композиций позволят с успехом осуществить их промышленное внедрение.

Для экспериментального закрепления приведенного анализа предлагаются результаты исследования вяжущих связок с использованием МД, приготовленных механоактивацией горных пород и бетонного производственного брака. Установлена зависимость изменения удельной поверхности минеральных порошков (при помощи прибора ПСХ–12) от продолжительности активации (табл. 1).

Наибольшей размолоспособностью характеризуется осадочная порода — опока, удельная поверхность которой составила $10\,500\text{ см}^2/\text{г}$ через 60 мин измельчения. Химический состав опоки в % по массе: $\text{MgO} = 1,10$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 5,47$; $\text{SiO}_2 = 28,7$; $\text{Na}_2\text{O} = 1,09$; $\text{CaO} = 61,53$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,12$. Сравнительно невысокое содержание кварца содействовало процессу измельчения. Немного меньшие показатели удельной поверхности зафиксированы у порошков из бетонного брака, объяснение этому сопоставимое увеличение на 18 % кварца в содержании добавки. Химический состав бетонного брака в % по массе: $\text{MgO} = 0,11$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 4,21$; $\text{SiO}_2 = 40,5$; $\text{Na}_2\text{O} = 0,19$; $\text{CaO} = 52,6$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,39$.

Вулканический пепел и кварцевые пески труднее подвержены размолу, что обосновано соответствующим химико-минеральным составом, с преобладанием кварца. Химический состав вулканического пепла в % по массе: $\text{MgO} = 0,20$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13,57$; $\text{SiO}_2 = 73,67$; $\text{K}_2\text{O} = 6,00$; $\text{CaO} = 1,79$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,52$; $\text{TiO}_2 = 2,85$; ппп = 0,40. Химический состав зерен кварцевого песка в % по массе: $\text{MgO} = 6,32$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 14,99$; $\text{SiO}_2 = 73,83$; $\text{K}_2\text{O} = 1,83$; $\text{CaO} = 0,60$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,97$; $\text{SO}_3 = 0,14$; $\text{TiO}_2 = 1,32$. Удельная поверхность полученных порошков изменялась в диапазоне $6500-7700\text{ см}^2/\text{г}$ через 1 ч помола в вибромельнице. Наибольший интерес представляют порошки из производственного бетонного брака, это связано с реализацией клинкерного фонда, законсервированного в плотной оболочке и требующего механического вмешательства.

Далее из приготовленных минеральных порошков были изготовлены и исследованы на 28 суток образцы цементно-песчаного состава (вяжущее:заполнитель = 1:3) с использованием стандартного Вольского монофракционного песка. Рецептура вяжущей связки «портландцемент – минеральный порошок» изменялась в зависимости от вида наполнителя, степень наполнения оставалась постоянной 25 %, удельная поверхность тонкодисперсной добавки соответствовала 60-минутному тонкому

Табл. 1. Удельная поверхность минеральной добавки

Table 1. Specific surface area of mineral additive

Наименование добавки Name additives	Удельная поверхность порошков, см²/г, от продолжительности механоактивации, мин Specific surface area of powders, cm²/gr, From duration of mechanoactivation, min			
	20	30	40	60
Кварцевый песок Quartz sand	3300	4200	5300	7400
Вулканический пепел Volcanic ash	3550	4250	5400	7900
Бетонный брак Defective concrete	4300	6300	8000	9800
Опока Flask	4800	6000	8300	10 500

измельчению. Анализ полученных результатов, представленных в табл. 2, показал, что МД из механоактивированного бетонного брака способствовала увеличению прочности ЦК на 20–24 % в сравнении с бездобавочной системой, и все это благодаря присутствию дополнительной активной составляющей в массиве добавки. А наличие доли известкового заполнителя в дисперсном состоянии способствует образованию таких труднорастворимых соединений, как гидрокарбосиликаты $4\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{CO}_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ и гидрокарбоалюминаты $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{CO}_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ кальция [14, 15, 17].

Минеральные тонкодисперсные добавки из вулканического пепла, опоки и кварцевого песка также проявили себя положительно, так как при экономии 25 % дорогого и ресурсоемкого ПЦ потери по прочности не наблюдались.

Для более детального исследования природы минеральных порошков добавку из бетонного брака, как самую эффективную, исследовали на дифрактометре ARL X'TRA, использующем кинематическую схему Θ - Θ с горизонтальным расположением плоского образца. Применено характеристическое излу-

Табл. 2. Свойства многокомпонентных вяжущих материалов

Table 2. Properties of multicomponent binders

Наименование добавки Name additives	Нормальная плотность, % Normal density, %	Удельная поверхность, см²/г Specific surface, cm²/g	Истинная плотность, кг/м³ True density, kg/m³	Водоотделение, % Water separation, %	Активность, МПа Activity, MPa
Кварцевый песок Quartz sand	26,0	3600	2970	18,0	53,4
Вулканический пепел Volcanic ash	27,5	4100	2980	16,7	54,7
Бетонный брак Defective concrete	27,6	5900	3010	15,0	62,6
Опока Flask	28,5	6200	2965	17,6	52,1
—	25,0	3370	3100	18,0	52,0

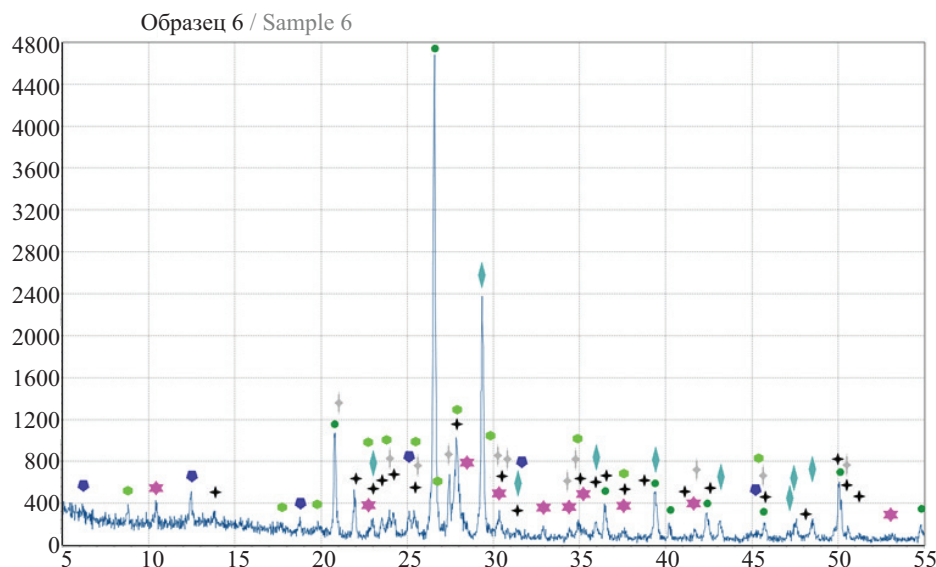


Рис. 6. Дифрактограмма образца бетонного брака в сопоставлении с данными базы PDF-2. Приведенные фазы сравнения: ● — кварц; ◆ — хлоритизированные темноцветные силикаты; ■ — белит C_2S ; ✕ — плагиоклаз (альбит — олигоклаз); ▲ — микроклин; ◆ — кальцит; ★ — амфибол

Fig. 6. X-ray diffraction pattern of defective concrete sample according to PDF-2 database data. Given comparison phases: ● — quartz; ◆ — chloritized dark-colored silicates; ■ — belite C_2S ; ✕ — plagioclase (albite-oligoclase); ▲ — microcline; ◆ — calcite; ★ — amphibole

чение медного анода (длины волн $CuK\alpha_1$ 1,5406 Å, $CuK\alpha_2$ 1,5444 Å) (рис. 6).

Фазовый анализ выполнен с помощью базы порошковых дифракционных данных PDF-2, выпуск 2006. По результатам рентгенофазового анализа в образце бетонного брака установлено присутствие кальцита, кварца, белита C_2S , хлоритизированных темноцветных силикатов кальция, альбита. Наиболее яркие рефлексы принадлежат окристаллизированным кристаллам двухкальциевого силиката, микроклина и плагиоклаза. Присутствие силикатов кальция подтверждает эффективность добавки из бетонных остатков, являющихся дополнительным источником образования гидратированных силикатов кальция. За счет наличия определенной доли непрореагировавших клинкерных минералов происходит усиление контактной зоны в системе «портландцемент — минеральный порошок», что способствует повышению прочности и долговечности ЦК.

Топологическая модель контактной зоны вяжущей системы «портландцемент — порошок бетонного брака», наполненной тонкодисперсным активным материалом с удельной поверхностью 8000–10 000 cm^2/g , соответствует типу межфазового геля из низкоосновных гидросиликатов кальция C–S–H (рис. 5), гарантирующего значительный запас физико-механических показателей. К тому же, учитывая природу этой минеральной добавки, можно утверждать, что решаются проблемы экономического и экологического характера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка рецептур многокомпонентных вяжущих композиций с использованием тонкодисперсных МД различной природы «клинкер — минеральная добавка», «портландцемент — минеральная добавка», «клинкер — минеральная добавка — пластификатор» позволит расширить ассортимент линейки вяжущих, найти экономное практическое применение ресурсоемкому материалу, снизить расход энергозатрат на высокотемпературную обработку, и все это не в ущерб эксплуатационным показателям.

В работе представлены топологические модели диффузионной межфазовой зоны ЦК, состоящей из прореагировавшей клинкерной и минеральных составляющих; пограничных слоев, отличающихся составом новообразований гидратных силикатов кальция. Качественный состав пограничной межфазовой зоны определяется природой и реакционной способностью наполнителя. Использование минеральных порошков в вяжущей связке в комплексе приводит к увеличению активности ЦК на 12–20 % в зависимости от природы добавки.

Таким образом, анализируя полученные результаты, можно констатировать, что соответствующий химико-минералогический состав, наличие ионообменных центров и высокий коэффициент активности способствуют повышению реакционной способности минеральных добавок, что важно для создания прочной вяжущей наполненной связки, необходимой для организации монолитного высотного строительства с конструктивными элементами сложной герметической конфигурации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самченко С.В., Воронин В.В., Ларсен О.А., Наруть В.В. Самоуплотняющийся бетон с компенсированной усадкой с использованием материалов из бетонного лома // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 2 (746). С. 71–78. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-746-2-71-78 EDN EYNTLL.
2. Саламанова М.Ш., Муртазаев С.-А.Ю., Нахаев М.Р. Возможные пути альтернативного решения проблем в цементной индустрии // Строительные материалы. 2020. № 1–2. С. 73–77. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77 EDN MWMPHT.
3. Ларсен О.А., Наруть В.В., Воронин В.В. Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin- Based Geopolymer // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2020. № 2 (88). С. 61.
4. Лам Н.З.Т., Самченко С.В., Лам Т.В., Щецова В.А. Оптимизация пропорций композиционного вяжущего с комплексными добавками // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 3. С. 427–437. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.3.427-437
5. Самченко С.В., Егоров Е.С., Абрамов М.А. Особенности повторного использования цементных суспензий при реализации технологии рециклинга бетонных смесей // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 12. С. 1573–1581. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1573-1581
6. Коротких Д.Н., Паникин Д.А., Погорелова Ю.В. Самоуплотняющиеся бетоны на основе отходов камнедробления // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2017. № 5. С. 51–59. EDN ZTMVXH.
7. Александрова О.В., Булгаков Б.И., Федосов С.В., Нгуен Д.В.К., Ляпидевская О.Б. Применение белого кварцевого песка для получения бетонов высокой прочности // Строительные материалы. 2022. № 11. С. 19–25. DOI: 10.31659/0585-430X-2022-808-11-19-25 EDN KHLHMS.
8. Баженова С.И. Высококачественные бетоны на наномодификаторах техногенного происхождения // Вестник МГСУ. 2011. № 3–2. С. 172. EDN OWCDNZ.
9. Гувалов А.А., Аббасова С.И., Кузнецова Т.В. Эффективность модификаторов в регулировании свойств бетонных смесей // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 49–51. EDN ZCSKXB.
10. Villa C., Pecina E.T., Torres R., Gomez L. Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite // Construction and Building Materials. 2010. Vol. 24. Issue 11. Pp. 2084–2090. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.04.052
11. Krivoborodov Y.R., Samchenko S.V., Kouznetsova T.V. Chemistry composition and properties of sulfated cements // SP-326: Durability and Sustainability of Concrete Structures (DSCS-2018). 2018. DOI: 10.14359/51711009
12. Salamanova M.Sh., Mintsaeв M.Sh., Murtazaev S-A.Yu., Bisultanov R.G. Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging // Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). 2019. DOI: 10.2991/isees-19.2019.98
13. Bataev D.K-S., Salamanova M.Sh., Murtazaev S-A.Yu., Viskhanov S.S., Murtazaev S-A.Yu. Utilization of cement kiln dust in production of alkali-activated clinker-free Binders // Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). 2019. DOI: 10.2991/isees-19.2019.89
14. Саламанова М.Ш. Строительные композиты на основе бесклнкерных вяжущих щелочной активации. Грозный, 2021. 198 с. EDN TEXCJI.
15. Potapova E., Krivoborodov Yu., Samchenko S., Kouznetsova T. Effective ecological building materials based on activated ash-cement mixtures // SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference EXPO Proceedings. 2018. DOI: 10.5593/sgem2018/6.3/s26.018
16. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Баранова А.А. Высокопрочный мелкозернистый бетон с мультикомпонентным наноимпрегнатом алюмосиликатного состава // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 9. С. 6–14. DOI: 10.12737/article_5bab4a1716b568.75074339 EDN YLEPVZ.
17. Корнеев В.И., Павлов А.И., Сорочкин М.А. Исследование начальной стадии гидратации многокомпонентных цементов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 1988. № 8. С. 81–84.
18. Takemoto K., Uchikawa H., Ogawa K. Mechanism of the hydration in the system pozzolana — C_3S // VII International Congression the Chemistry of Cement. Paris, 1980. Vol. 111. Pp. 242–247.
19. Бурьянов А.Ф., Гальцева Н.А., Будыжова Е.Н., Фишер Х.Б. Вопросы теории и практики применения гипсовых и ангидритовых вяжущих // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году: сб. науч. тр. РААСН. М., 2022. С. 58–65. EDN OVEGSP.
20. Свейти Ю., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Бурьянов А.Ф., Петропавловская В.Б. Дисперсно-армированные гипсовые композиции // Химия, физика и механика материалов. 2022. № 2 (33). С. 32–45. EDN BRNIAY.

Поступила в редакцию 14 февраля 2023 г.

Принята в доработанном виде 22 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 7 июля 2023 г.

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

Магомед Рамзанович Нахаев — кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики и компьютерных технологий; **Чеченский государственный университет имени А.А. Кадырова;** 364024, г. Грозный, ул. Шерипова, д. 32; SPIN-код: 1098-5356, Scopus: 57192895989, ResearcherID: F-1101-2017, ORCID: 0000-0002-2589-6662; mr-nakhaev@mail.ru.

Вклад авторов:

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

Нахаев М.Р. — научное редактирование.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Samchenko S.V., Voronin V.V., Larsen O.A., Naruts V.V. Self-compacting concrete with compensated shrinkage based on recycled concrete materials. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2021; 2(746):71-78. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-746-2-71-78 EDN EYNTLL. (rus.).
2. Salamanova M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu., Nakhaev M.R. Possible alternative solutions to problems in the cement industry. *Construction Materials*. 2020; 1-2:73-77. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77 EDN MWMPHT. (rus.).
3. Larsen O.A., Narut V.V., Voronin V.V. Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin-Based Geopolymer. *Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2020; 2(88):61. (rus.).
4. Lam N.D.T., Samchenko S.V., Lam T.V., Shvetsova V.A. Optimization of proportions of a composite binder that has multi-component additives. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2023; 18(3):427-437. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.3.427-437 (rus.).
5. Samchenko S.V., Egorov E.S., Abramov M.A. Features of using cement suspension in concrete mixture recycling technology. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2021; 16(12):1573-1581. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1573-1581 (rus.).
6. Korotkikh D.N., Panikin D.A., Pogorelova Yu.V. Self-compacting concretes based on stone crushing waste. *FES: Finance. Economy. Strategy*. 2017; 5:51-59. EDN ZTMVXJ. (rus.).
7. Aleksandrova O.V., Bulgakov B.I., Fedosov S.V., Nguyen Duc Vinh Quang, Lyapidevskaya O.B. Use of white quartz sand for high-strength concrete. *Construction Materials*. 2022; 11:19-25. DOI: 10.31659/0585-430X-2022-808-11-19-25 EDN KHLHMS. (rus.).
8. Bazhenova S.I. High-quality concrete on nanomodifiers technogenic origin. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2011; 3-2:172. EDN OWCDNZ. (rus.).
9. Guvalov A.A., Abbasova S.I., Kuznetsova T.V. Efficiency of modifiers when regulating properties of concrete mixes. *Construction Materials*. 2017; 7:49-51. EDN ZCSKXB. (rus.).
10. Villa C., Pecina E.T., Torres R., Gomez L. Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite. *Construction and Building Materials*. 2010; 24(11):2084-2090. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.04.052
11. Krivoborodov Y.R., Samchenko S.V., Kouznetsova T.V. Chemistry composition and properties of sulfated cements. *SP-326: Durability and Sustainability of Concrete Structures (DSCS-2018)*. 2018. DOI: 10.14359/51711009
12. Salamanova M.Sh., Mintsaeв M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu., Bisultanov R.G. Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. 2019. DOI: 10.2991/isees-19.2019.98
13. Bataev D.K.-S., Salamanova M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu., Viskhanov S.S., Murtazaev S.-A.Yu. Utilization of cement kiln dust in production of alkali-activated clinker-free binders. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. 2019. DOI: 10.2991/isees-19.2019.89

14. Salamanova M.Sh. *Building composites based on clinker-free binders of alkaline activation*. Grozny, 2021; 198. EDN TEXCJI. (rus.).
15. Potapova E., Krivoborodov Yu., Samchenko S., Kouznetsova T. Effective ecological building materials based on activated ash-cement mixtures. *SGEM International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference EXPO Proceedings*. 2018. DOI: 10.5593/sgem2018/6.3/s26.018
16. Lukutsova N.P., Pykin A.A., Baranova A.A. High-strength grained concrete with multi-component nano-impregnated aluminosilicate composition. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2018; 9:6-14. DOI: 10.12737/article_5bab4a1716b568.75074339 EDN YLEPVZ. (rus.).
17. Korneev V.I., Pavlov A.I., Sorochkin M.A. Study of the initial stage of hydration of multicomponent cements. *News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology*. 1988; 8:81-84. (rus.).
18. Takemoto K., Uchikawa H., Ogawa K. Mechanism of the hydration in the system pozzolana — C_3S . *VII International Congress the Chemistry of Cement*. Paris, 1980; 111:242-247.
19. Buryanov A.F., Gal'tseva N.A., Buldyzhova E.N., Fisher Kh.-B. Issues of theory and practice of application of gypsum and anhydrite binders. *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 2021 : collection of scientific papers RAASN*. Moscow, 2022; 58-65. EDN OVEGSP. (rus.).
20. Sweity Y., Novichenkova T.B., Petropavlovskii K.S., Buryanov A.F., Petropavlovskaya V.B. Dispersive-reinforced gypsum compositions. *Chemistry, Physics and Mechanics of Materials*. 2022; 2(33):32-45. EDN BRNIAY. (rus.).

Received February 14, 2023.

Adopted in revised form on May 22, 2023.

Approved for publication on July 7, 2023.

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

Magomed R. Nakhaev — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics and Computer Technologies, **Chechen State University named after A.A. Kadyrov**; 32 Sheripova st., Grozny, 364024, Russian Federation; SPIN-code: 1098-5356, Scopus: 57192895989, ResearcherID: F-1101-2017, ORCID: 0000-0002-2589-6662; mr-nakhaev@mail.ru.

Contribution of the authors:

Madina Sh. Salamanova — scientific guidance, research concept, final conclusions.

Magomed R. Nakhaev — scientific editing.

The authors declare no conflict of interest.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 662.998-4

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1251-1261

Изучение процесса деформации различных видов теплоизоляционных материалов при воздействии низких температур и влаги

Евгений Николаевич Неверов, Игорь Алексеевич Короткий, Павел Сергеевич
Коротких, Александр Николаевич Расщепкин, Саиль Алексеевич Самар
Кемеровский государственный университет (КемГУ); г. Кемерово, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Холодильные машины применяются во многих областях промышленности с целью получения искусственного холода. Для поддержания оптимальных рабочих температур, повышения энергоэффективности и уменьшения энергопотерь при работе холодильных машин используется теплоизоляция. Теплоизоляция — это элементы конструкции холодильной камеры, которые уменьшают процесс теплопередачи и играют роль основного термического сопротивления в конструкции. Ключевые характеристики теплоизоляционных материалов — теплопроводность, плотность, влагопоглощение, гидрофобность, морозостойкость, прочность и горючесть. В зависимости от условий, в которых будет находиться холодильная камера, можно определить, какой материал предпочтительней в качестве теплоизоляции. На данный момент существует множество теплоизоляционных материалов, что может поставить потребителя в тупик, ведь в большинстве случаев в описании характеристик данного материала предоставляется информация лишь о его положительных качествах. Другие особенности, которые делают его применение недостаточно эффективным, не указываются.

Материалы и методы. Проведен анализ разных видов теплоизоляционных материалов, которые являются приоритетными при конструировании холодильных камер. Чтобы понять, какой материал обладает нужными характеристиками, следует воссоздать условия, при которых он будет эксплуатироваться. Для этого используются несколько основных лабораторных воздействий для создания неблагоприятных условий для материалов.

Результаты. Исследованы материалы, которые продемонстрировали сильные и слабые стороны при разных физических условиях.

Выводы. На основе приведенных результатов понятно, какие материалы приоритетны в качестве теплоизоляции холодильной камеры, а какие нуждаются в дополнительной обработке.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теплоизоляционный материал, пенополиуретан, минеральная вата, пенопласт, пенополистирол, деформация, холодильная машина

Благодарности. Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 № 1144-р, № соглашения 075-15-2022-1201 от 30.09.2022.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Неверов Е.Н., Короткий И.А., Коротких П.С., Расщепкин А.Н., Самар С.А. Изучение процесса деформации различных видов теплоизоляционных материалов при воздействии низких температур и влаги // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 8. С. 1251–1261. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1251-1261

Автор, ответственный за переписку: Евгений Николаевич Неверов, neverov42@mail.ru.

Study of the deformation process of various types of thermal insulation materials under the influence of low temperatures and moisture

Evgeniy N. Neverov, Igor A. Korotkiy, Pavel S. Korotkih,
Alexander N. Rasshchepkin, Sail A. Samar
Kemerovo State University (KemSU); Kemerovo, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Refrigerating machines are used in many areas of industry to produce artificial cold. To maintain optimal operating temperatures, increase energy efficiency and reduce energy loss, thermal insulation is used during the operation of refrigerating machines. Thermal insulation is the structural elements of the refrigerator, which reduce the heat transfer

process, and plays the role of the main thermal resistance in the structure. The main characteristics of thermal insulation materials are: heat conductivity, density, moisture absorption, hydrophobicity, frost resistance, strength and flammability. Depending on the conditions in which the refrigerator will be located, it is possible to determine which material will be preferable as thermal insulation. At the moment, there are many thermal insulation materials, which in turn puts the consumer at a dead end, because in most cases, the description of the characteristics of this material provides information only about its positive qualities. At the same time, its other features, which make its use insufficiently effective, are kept silent.

Materials and methods. In this article, the analysis of different types of thermal insulation materials, which are priority in the design of cold storage chambers, is carried out. In order to understand which material has the characteristics we need, it is necessary to recreate the conditions under which this material will be used. To do this, several basic laboratory influences are used to create unfavorable conditions for materials.

Results. As a result of these interactions, tests were performed on materials that demonstrated the strengths and weaknesses of materials under different physical conditions.

Conclusions. Based on the above results, it will become clear which materials are priority as thermal insulation of the refrigerator, and which need additional processing.

KEYWORDS: thermal insulation material, polyurethane foam, mineral wool, foam, polystyrene foam, deformation, refrigeration machine

Acknowledgment. The study was carried out as part of a comprehensive scientific and technical program of the full innovation cycle "Development and implementation of a set of technologies in the areas of exploration and production of solid minerals, ensuring industrial safety, bioremediation, creating new products of deep processing from coal raw materials while consistently reducing the environmental burden on the environment and risks to the life of the population", approved by Order of the Government of the Russian Federation dated 11.05.2022 No. 1144-р, Agreement No. 075-15-2022-1201 dated 30.09.2022.

FOR CITATION: Neverov E.N., Korotkiy I.A., Korotkih P.S., Rasshchepkin A.N., Samar S.A. Study of the deformation process of various types of thermal insulation materials under the influence of low temperatures and moisture. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1251-1261. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1251-1261 (rus.).

Corresponding author: Evgeniy N. Neverov, neverov42@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Холодильные системы применяются во многих отраслях промышленности и работают, как правило, в широком диапазоне режимов, в связи с этим в холодильных камерах и элементах системы требуется использование теплоизоляционных материалов, которые также позволяют повысить энергоэффективность и уменьшить энергопотери. В качестве теплоизоляционных материалов для холодильных предприятий в настоящее время получили большое распространение такие материалы, как: пенопласт, пенополистирол, минеральная вата, пенополиуретан и др. [1–4].

При их применении возникают проблемы, связанные с увлажнением и деформацией теплоизоляции. Поскольку влага является хорошим проводником тепла, ее присутствие в системе изоляции негативно, так как приводит к снижению эффективности теплоизоляции и впоследствии к повышенным затратам электроэнергии [5–7].

Основные характеристики теплоизоляционных материалов — коэффициент теплопроводности, плотность, прочность, паропроницаемость, водопоглощение, огнестойкость, биостойкость и морозостойкость. При подборе теплоизоляционного покрытия надо уделить пристальное внимание каждой из характеристик [8–10].

На рынке имеется значительное разнообразие теплоизоляционных материалов. Каждый материал отличается качеством, тепловым сопротивлением и, что очень важно, ценой. Также в современном мире важную роль играет экологичность теплоизоляционного материала [11–14].

Сегодня существует огромный спрос на теплоизоляционные материалы. Он сформирован не только в отраслях, специализирующихся на производстве и использовании холодильного оборудования, но и промышленными предприятиями, частными лицами, предпринимателями, занимающимися строительством нежилых помещений.

Этот спрос успешно удовлетворяется, так как производится большое количество теплоизоляционных материалов различных видов. Каждый из них обладает набором своих характеристик и свойств, что позволяет выбрать необходимый материал, подходящий для использования в конкретном случае [15, 16].

Цель исследования — анализ современных теплоизоляционных материалов, определение наиболее эффективных или требующих дополнительной обработки при использовании в низкотемпературных установках.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Процесс деформации разных видов теплоизоляционных материалов при низких температурах изучили с помощью прессы малогабаритного ПМ-МГ4. Данная испытательная машина предназначена для испытаний образцов теплоизоляционных материалов на сжатие при 10%-ной линейной деформации. Испытательная машина изображена на рис. 1.

Для исследования свойств материалов при воздействии низких температур применяли:

- морозильный ларь, способный понизить температуру охлаждаемого объекта до температуры -20°C Liebherr LGT 2325 Index 40A/001;
- весы с пределом допустимой погрешности не более ± 1 г Irit IR-7122;

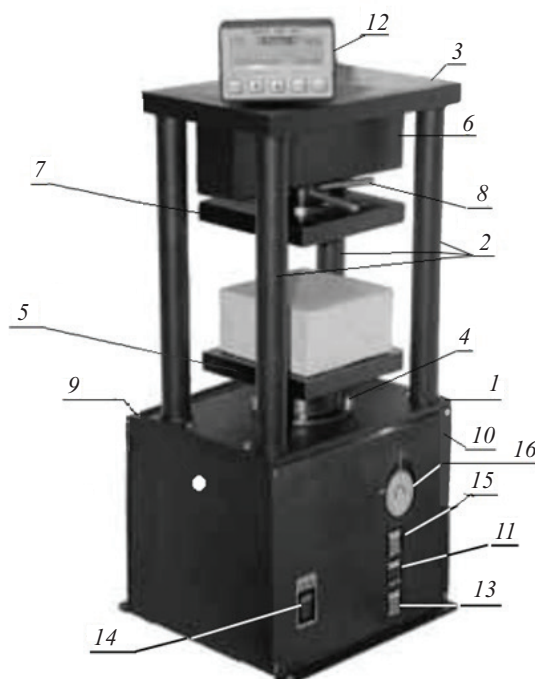


Рис. 1. Общий вид передней части пресса ПМ-МГ4 с электрическим приводом механизма нагружения: 1 — основание; 2 — стойки; 3 — траверса; 4 — механизм нагружения; 5 — нижняя плита; 6 — тензопреобразователь; 7 — верхняя плита; 8 — рукоятка поворота верхней плиты; 9 — светодиод; 10 — крышка батарейного отсека сигнального устройства; 11 — кнопка «Стоп»; 12 — блок электронный; 13 — кнопка «Возврат»; 14 — тумблер включения питания; 15 — кнопка «Пуск»; 16 — регулятор скорости перемещения нижней плиты

Fig. 1. General view of the front part of the PM-MG4 press with an electric drive of the loading mechanism: 1 — base; 2 — racks; 3 — traverse; 4 — loading mechanism; 5 — lower plate; 6 — strain gauge; 7 — upper plate; 8 — handle for turning the upper plate; 9 — Led; 10 — battery cover of the alarm device; 11 — Stop button; 12 — electronic unit; 13 — Return button; 14 — power on toggle switch; 15 — Start button; 16 — speed control of the lower plate movement

• штангенциркуль ШЦ с отсчетом по нониусу
ГОСТ 166–89, ТУ 26.51.33-001-04567838–2018;

- электрошкаф сушильный;
- ванна из нержавеющей материала;
- поддон для взвешивания размером 120 × 120 мм, высота бортов 10 мм.

На рис. 2 представлены теплоизоляционные материалы, используемые в качестве опытных образцов в проведенных испытаниях.

При проведении исследований использовали четыре образца, которые располагались в различных условиях. Для первого и второго метода образец находился в стандартном, сухом состоянии, далее для третьего измерения он вымачивался, после чего высушивался для последнего измерения.

Применяли образцы кубической формы со сторонами 100 ± 1 мм. Образцы выполнены из различных видов теплоизоляционных материалов, которые приведены в таблице.

Использовали четыре метода определения различных свойств теплоизоляционных материалов, которые представлены ниже [17–20].

Исследование теплоизоляционных материалов на установление прочности на сжатие при 10%-ной линейной деформации (1-й метод). В качестве ис-

следуемого материала использовали: вспененный пенополистирол, пенопласт, пенополиуретан, минеральную вату.

Метод определения прочности на сжатие при 10%-ной линейной деформации распространяется на неорганические волокнистые и органические ячеистые теплоизоляционные материалы. Каждый из теплоизоляционных материалов изучался в четырех состояниях: полностью высушенный образец, температура которого на момент испытания была равна комнатной; полностью высушенный образец, температура которого была понижена до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; образец, вымоченный до этого св ванне с водой в течение 24 ч и температурой $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; образец также вымоченный в ванне с водой в течение 24 ч, после чего замороженный до температуры $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, но после этого высушенный и исследуемый при комнатной температуре.

Сущность метода заключается в измерении значения сжимающих усилий, вызывающих деформацию образца по толщине на 10 % при соответствующих условиях испытания.

На нижнюю плиту пресса ПМ-МГ4 помещается испытуемый образец. Для проведения испытания образец устанавливают в машину таким образом,



Рис. 2. Опытные образцы теплоизоляционных материалов: 1 — пенополистирол; 2 — пенопласт; 3 — минеральная вата; 4 — пенополиуретан

Fig. 2. Prototypes of thermal insulation materials: 1 — expanded polystyrene; 2 — styrofoam; 3 — mineral wool; 4 — polyurethane foam

Виды опытных образцов теплоизоляционных материалов

Types of prototypes of thermal insulation materials

Название материала Material name	Плотность, кг/м³ Density, kg/m³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·С) Thermal conductivity coefficient, W/(m·C)	Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па) Vapor permeability, mg/(m·h·Pa)
Пенополистирол Polystyrene foam	22	0,041	0,05
Пенопласт Styrofoam	9	0,039	0,23
Пенополиуретан Polyurethane foam	35	0,041	0,05
Минеральная вата Mineral wool	30	0,056	0,56

чтобы сжимающее усилие действовало по вертикальной оси образца, и измеряют нагрузку, при которой он уплотняется (деформируется) на 10 %. Измерение деформации образца производят штангенциркулем.

Прочность на сжатие при 10%-ной линейной деформации σ_{10} , МПа, вычисляют по формуле [1]:

$$\sigma_{10} = \frac{P}{lb}, \tag{1}$$

где P — нагрузка при 10%-ной линейной деформации, Н; l — длина образца, мм; b — ширина образца, мм.

Исследование теплоизоляционных материалов на определение предела прочности при сжатии (2-й метод). Испытывали пенополистирол, пенопласт и пенополиуретан. Метод определения предела прочности при сжатии распространяется на все виды теплоизоляции в виде волокнистых неорганических утеплителей и органических ячеистых, кро-

ме ячеистого бетона. В данном испытании также исследуются различные теплоизоляционные материалы в таких же состояниях, что и в предыдущем методе.

Сущность метода состоит в измерении значения сжимающих усилий, вызывающих разрушение образца при соответствующих условиях испытания.

Размещение образца на прессе ПМ-МГ4 аналогично предыдущему методу.

Разрушающей считают наибольшую нагрузку, отмеченную при испытании образца в момент его разрушения.

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа, вычисляют по формуле [2]:

$$R_{сж} = \frac{P_p}{lb}, \tag{2}$$

где P_p — разрушающая нагрузка, Н.

Исследование теплоизоляционных материалов на установление упругости (3-й метод). Метод

определения упругости распространяется на неорганические волокнистые и органические ячеистые теплоизоляционные материалы.

Суть метода заключается в измерении толщины образца изделия при воздействии сжимающей удельной нагрузки в определенной последовательности.

На нижнюю плиту пресса ПМ-МГ4 помещается испытуемый образец. После этого верхняя пластина прижимает образец сверху так, чтобы не было зазоров. Далее подается нагрузка на образец в размере 500 Па. При данной нагрузке образец выдерживается в течение 5 мин. Затем происходит замер толщины образца штангенциркулем. После этого осуществляется увеличение нагрузки до 2000 Па. Образец выдерживается при этой нагрузке 5 мин, после чего нагрузка убирается и проводится замер изменения толщины.

Упругость Y , %, рассчитывают следующим образом [3]:

$$Y = \frac{h_1}{h} 100, \quad (3)$$

где h_1 — толщина образца после снятия нагрузки, мм; h — первоначальная толщина образца, мм.

Изучение теплоизоляционных материалов на определение влагопоглощения по массе (4-й метод). Метод определения водопоглощения при полном погружении образца в воду заключается в измерении массы воды, которую поглотил образец сухого материала при полном погружении в течение некоторого времени.

Влагопоглощение W , %, устанавливают по формуле [4]:

$$W = \frac{m_1 - m_2 - m_3}{m_2} 100, \quad (4)$$

где m_1 — масса образца после насыщения водой и поддона для взвешивания, г; m_2 — масса образца, предварительно высушенного до постоянной массы, г; m_3 — масса сухого поддона для взвешивания, г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Получены данные, которые представлены на диаграмме рис. 3.

Как видно на диаграмме, пенопласт и минеральная вата имеют наиболее низкие показатели при нагрузке, в отличие от пенополистирола и пенополиуретана. Так же у пенопласта более стабильные показатели состояния вне зависимости от внешних условий испытания. Наиболее нестабильные показатели заметны у минеральной ваты. Связано это, в первую очередь, со структурой минеральной ваты, которая характеризуется высокой волокнистостью. Этот материал обладает низким пределом прочности по сравнению с другими теплоизоляционными материалами. Но так как отличается высоким влагопоглощением, то при затвердевании влаги увеличивается предел ее прочности.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод что образцы, подверженные заморозке и вымачиванию, а после приведенные в нормальные условия, обладают меньшей прочностью на сжатие

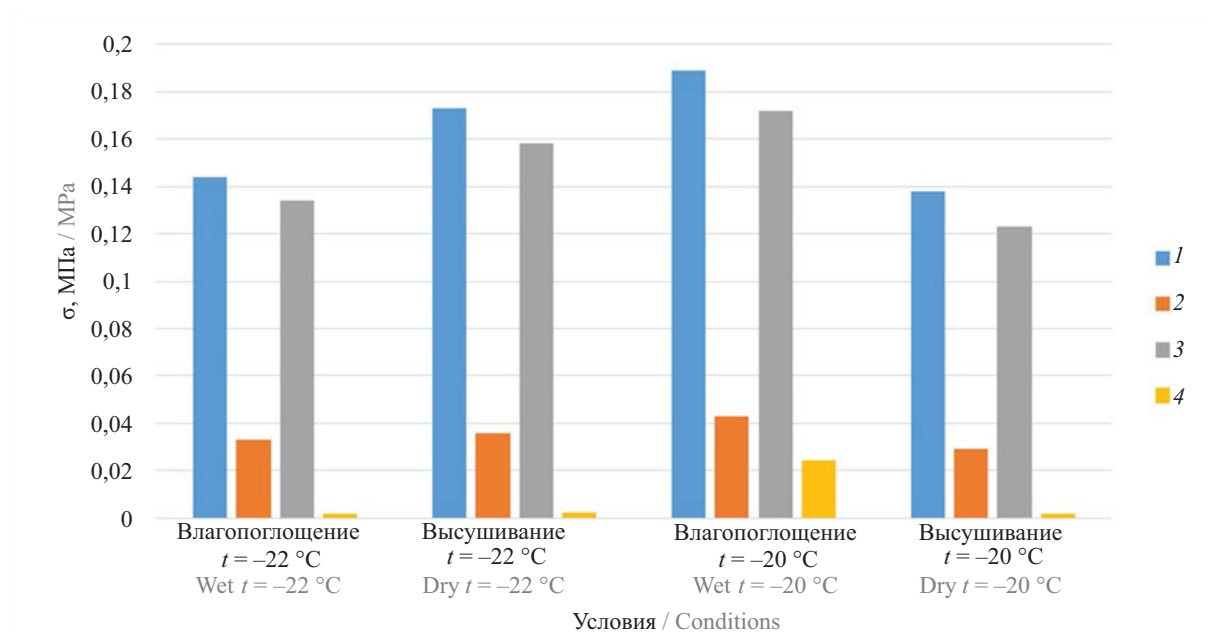


Рис. 3. Зависимость прочности на сжатие при 10%-ной линейной деформации образцов: 1 — пенополистирол; 2 — пенопласт; 3 — пенополиуретан; 4 — минеральная вата

Fig. 3. Dependence of compressive strength at 10% linear deformation of samples: 1 — expanded polystyrene; 2 — styrofoam; 3 — polyurethane foam; 4 — mineral wool

при 10%-ной линейной деформации, также образцы, находящиеся в условиях пониженной температуры и влажности, имеют повышенную прочность, так как при поглощении и затвердевании влаги при низких температурах увеличивается предел прочности материала.

На рис. 4 приведены результаты испытания прочности теплоизоляционных материалов на сжатие. Испытания проводились над следующими материалами: пенополистирол, пенопласт и пенополиуретан.

В отличие от испытания прочности на сжатие при 10%-ной линейной деформации, где у пенополистирола были наибольшие показатели, здесь наилучшие характеристики показывает пенополиуретан. Наиболее низкие результаты продемонстрировал пенопласт, который по сравнению с пенополистиролом и пенополиуретаном имеет низкий запас прочности. Из диаграммы видно, что подверженные замораживанию и вымачиванию, а после приведенные в нормальные условия образцы обладают меньшим пределом прочности на сжатие, также образцы, находящиеся в условиях пониженной температуры и влажности, имеют повышенную прочность, поскольку при поглощении и затвердевании влаги при низких температурах увеличивается предел прочности материала.

На рис. 5 показаны результаты испытания теплоизоляционных материалов на определение упругости.

При испытаниях на упругость наиболее стабильные показатели относительно остальных теплоизоляционных материалов показал пенополиуретан. В ре-

зультате всех проведенных испытаний его упругость находилась в диапазоне от 93 до 97 %. Это говорит о повышенной стабильности данного материала.

Самые нестабильные результаты у минеральной ваты, диапазон изменения ее упругости на протяжении всех испытаний варьируется от 68 до 95 %. Самые высокие показатели упругости минеральная вата проявляла при температуре $t = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и высокой влажности.

Наивысшие показатели упругости пенопласта были достигнуты при температуре $t = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и высокой влажности, а наименьшие у образца, который предварительно выдержали в воде на протяжении 24 ч, а после этого заморозили до температуры $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем высушили и исследовали при температуре образца, равной комнатной.

После тщательного рассмотрения всех образцов можно сделать вывод, что наиболее стабильным из всех является пенополиуретан. Пенополистирол и пенополиуретан эффективны при низких температурах, вне зависимости от влажности. Исследуемая характеристика минеральной ваты эффективна лишь при низкой температуре и высокой влажности. Вызвано это тем, что при высокой влажности минеральная вата поглощает влагу и становится более упругой.

Повышенная и стабильная упругость пенополиуретана вызвана физическим строением данного вещества. Так как при его затвердевании на поверхности образуется прочная газонаполненная ячеистая масса, повышенная прочность которой создает условия увеличенной упругости.

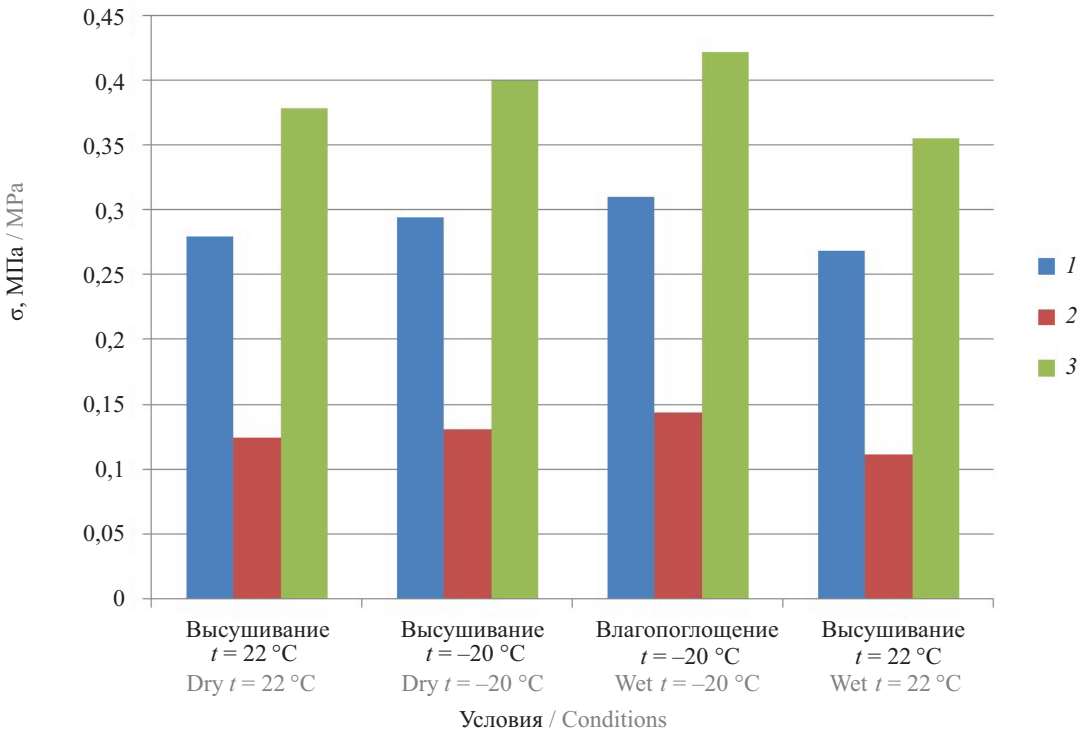


Рис. 4. Зависимость прочности на сжатие: 1 — пенополистирол; 2 — пенопласт; 3 — пенополиуретан

Fig. 4. Dependence of compressive strength: 1 — expanded polystyrene; 2 — styrofoam; 3 — polyurethane foam

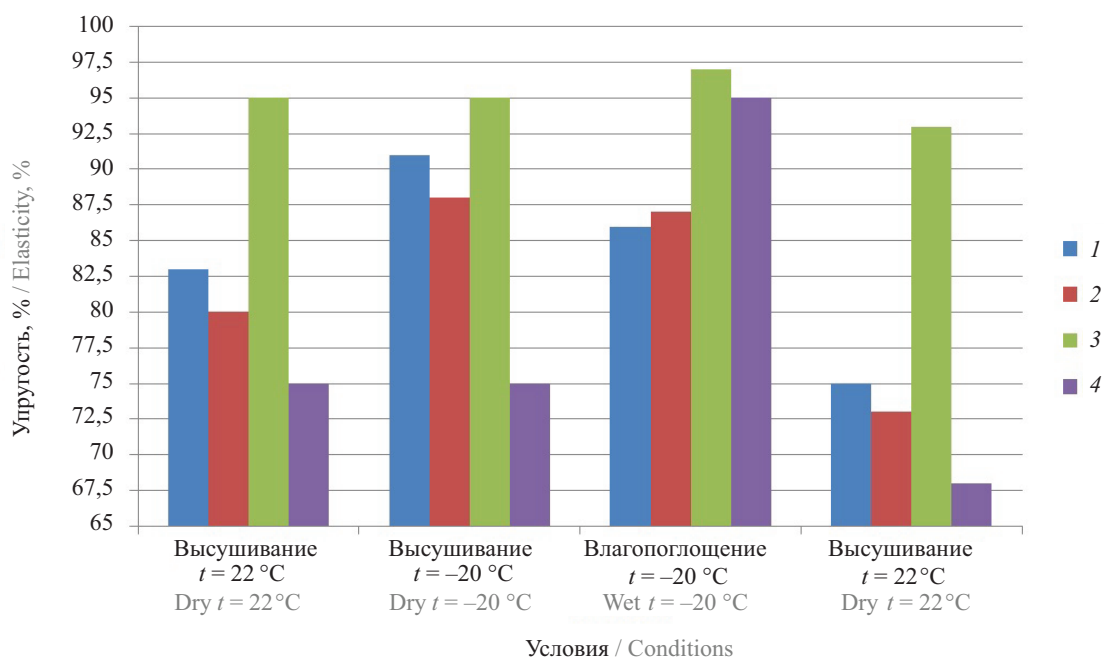


Рис. 5. Зависимость характеристик теплоизоляционных материалов при определении упругости: 1 — пенополистирол; 2 — пенопласт; 3 — пенополиуретан; 4 — минеральная вата

Fig. 5. Dependence of the characteristics of thermal insulation materials in determining elasticity: 1 — expanded polystyrene; 2 — styrofoam; 3 — polyurethane foam; 4 — mineral wool

На рис. 6 представлены результаты испытания теплоизоляционных материалов на влагопоглощение по массе.

Наибольшее влагопоглощение показал образец из минеральной ваты 1558 %, что свидетельствует о невозможности использования данного материала

в местах с повышенной влажностью, так как это приведет к быстрому приходу его в негодность. Это связано с физическими свойствами минеральной ваты, так как в отличие от остальных материалов она не имеет ячеистой структуры, у нее структура ваты, которая обладает высоким влагопоглощением.

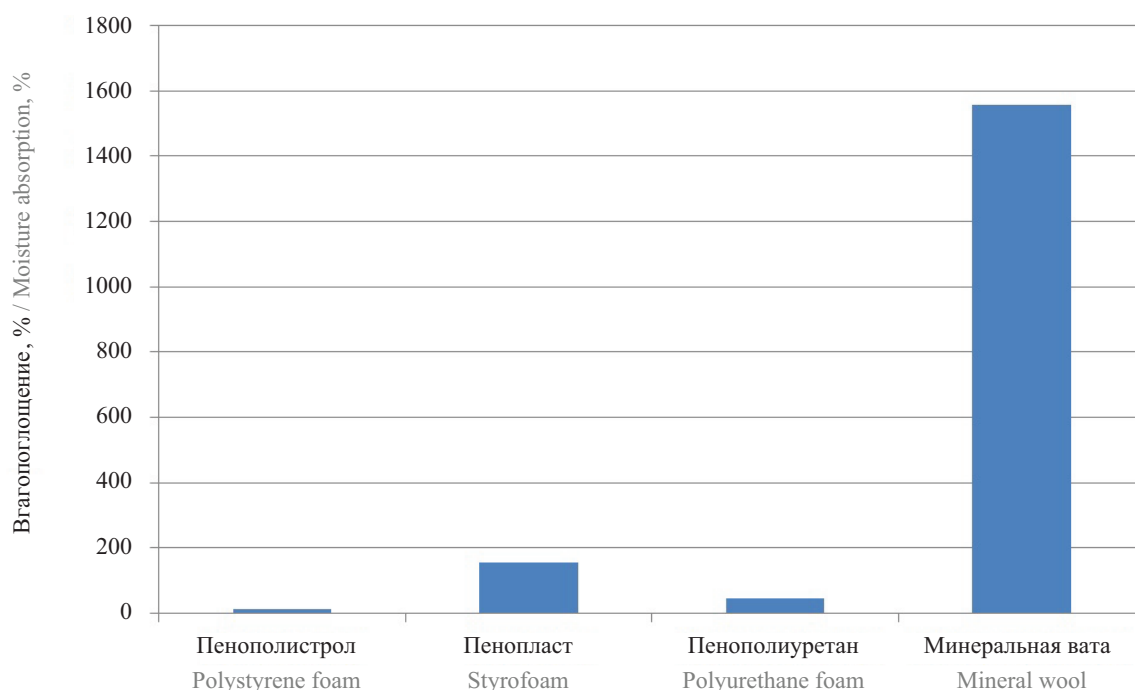


Рис. 6. Результаты испытания теплоизоляционных материалов на влагопоглощение по массе

Fig. 6. Results of testing of thermal insulation materials for moisture absorption by weight

Наилучшие характеристики у пенополистирола, его влагопоглощение составило 13,6 %. Влагопоглощение у пенополиуретана — 45,7 %, у пенопласта — 255,6 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, изменение температуры, а также влажности теплоизоляционных материалов напрямую влияет на их характеристики прочности, а именно при постоянном воздействии низких температур и влаги в дальнейшем происходит снижение прочности материала. Это необходимо учитывать при выборе теплоизоляционного материала

и осуществлять подбор в соответствии с условиями, в которых он будет эксплуатироваться.

Наиболее подверженными из представленных теплоизоляционных материалов к воздействию низких температур и влаги являются изделия из минеральной ваты, в частности, наиболее пагубное влияние имеет именно влага. Это связано с тем, что у минеральной ваты очень высокое влагопоглощение. Соответственно при выборе минеральной ваты в качестве теплоизоляции, необходимо защитить ее от попадания влаги путем гидроизоляции.

Пенополиуретан и пенополистирол оказались наиболее стойкими материалами и, как правило, не требуют дополнительной защиты от влаги.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кузьмичева И.Г. Минеральная вата // Наука и образование: тенденции и перспективы. 2017. С. 3–4. EDN ZUVFWB.
2. Местников А.Е. Прогнозирование структуры и свойств терморезистивных пенопластов с использованием теории теплоустойчивости // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 11–2. С. 299–304. DOI: 10.17513/snt.38378 EDN AEPICW.
3. Колосов Р.А. Применение пенопласта в качестве строительного материала // Наука, образование и культура. 2019. № 8 (42). С. 23–24. EDN IMSLMM.
4. Johnson G.R., Holmquist T.J., Chocron S., Scott N.L. Response of a polystyrene foam subjected to large strains and high pressures // The European Physical Journal Special Topics. 2018. Vol. 227. Issue 1–2. Pp. 61–71. DOI: 10.1140/epjst/e2018-00072-8
5. Eskander S.B., Tawfik M.E., Tawfic M.L. Mechanical, flammability and thermal degradation characteristics of rice straw fiber-recycled polystyrene foam hard wood composites incorporating fire retardants // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2018. Vol. 132. Issue 2. Pp. 1115–1124. DOI: 10.1007/s10973-018-6984-6
6. Montaser W.M., Shaaban I.G., Zaher A.H., Khan S.U., Sayed M.N. Structural behaviour of polystyrene foam lightweight concrete beams strengthened with FRP laminates // International Journal of Concrete Structures and Materials. 2022. Vol. 16. Issue 1. DOI: 10.1186/s40069-022-00549-1
7. Yuan C., Wenhua Z., Lei Z., Wanting Z., Yunsheng Z. Dynamic impact compressive performance of expanded polystyrene (EPS)-foamed concrete // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2022. Vol. 22. Issue 4. DOI: 10.1007/s43452-022-00486-6
8. Гунченко Т.С., Булуцкая В.Г. Сравнительный анализ параметров утеплителей на основе полимерных материалов: пенопласт и экструдированный пенополистирол // IV Междунар. студ. строит. форум – 2019 : сб. докл. (к 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова). 2019. С. 260–266. EDN NXVNGS.
9. Петрюк И.П. Моделирование прочностных характеристик пенопластов // Пластические массы. 2020. № 5–6. С. 36–37. DOI: 10.35164/0554-2901-2020-5-6-36-37 EDN XBOBDJ.
10. Malai A., Youwai S. Stiffness of expanded polystyrene foam for different stress states // International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering. 2021. Vol. 7. Issue 4. DOI: 10.1007/s40891-021-00321-7
11. Проскурова И.Д., Ахатов Т.Р. Исследование применения минеральных ват в утеплении зданий и сооружений // Проблемы обеспечения химической безопасности : сб. тр. II Всерос. науч.-практ. конф. 2021. С. 56–60. EDN KGHMUY.
12. Porkar B., Atmianlu P.A., Mahdavi M., Baghdadi M., Farimaniraad H., Ali Abdoli M. Chemical modification of polystyrene foam using functionalized chitosan with dithiocarbamate as an adsorbent for mercury removal from aqueous solutions // Korean Journal of Chemical Engineering. 2023. Vol. 40. Issue 4. Pp. 892–902. DOI: 10.1007/s11814-023-1387-1
13. He J., Wu H., Zhong L., Zhong Q., Yang Q., Ye X. et al. Mechanical properties and thermal conductivity of lightweight and high-strength carbon-graphite thermal insulation materials // Journal of Materials Science. 2022. Vol. 57. Issue 6. Pp. 4166–4179. DOI: 10.1007/s10853-021-06862-6
14. Akan A.E. Determination and modeling of optimum insulation thickness for thermal insulation of buildings in all city centers of Turkey // International Journal of Thermophysics. 2021. Vol. 42. Issue 4. DOI: 10.1007/s10765-021-02799-9
15. Zhao R., Guo H., Yi X., Gao W., Zhang H., Bai Y. et al. Research on thermal insulation properties of plant fiber composite building material : a review // International Journal of Thermophysics. 2020. Vol. 41. Issue 6. DOI: 10.1007/s10765-020-02665-0

16. Luo C., Zhao Z., Zhang D., Li C., Liu C., Li Y. et al. Temperature effect on the thermal properties of insulation paper // *Electrical Engineering*. 2021. Vol. 103. Issue 2. Pp. 1083–1091. DOI: 10.1007/s00202-020-01129-w

17. Akhmetova I.G., Lapin K.V., Akhmetov T.R., Balzamova E.Yu. Applying modern information technologies for thermal energy accounting in the operational search for humidification of thermal insulation // *Thermal Engineering*. 2021. Vol. 68. Issue 5. Pp. 410–416. DOI: 10.1134/S0040601521040017

18. Plotnikov A.A. Stabilizing the temperature regime of a frozen foundation bed using thermal insulation and cooling mechanisms // *Soil Mechanics and Founda-*

tion Engineering. 2020. Vol. 57. Issue 4. Pp. 329–335. DOI: 10.1007/s11204-020-09674-z

19. Aniskin N.A., Chuc N.T., Khanh P.K. The use of surface thermal insulation to regulate the temperature regime of a mass concrete during construction // *Power Technology and Engineering*. 2021. Vol. 55. Issue 1. Pp. 1–7. DOI: 10.1007/s10749-021-01310-6

20. Danaci H.M., Akin N. Thermal insulation materials in architecture: a comparative test study with aerogel and rock wool // *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. Issue 48. Pp. 72979–72990. DOI: 10.1007/s11356-022-20927-2

Поступила в редакцию 7 апреля 2023 г.

Принята в доработанном виде 5 июня 2023 г.

Одобрена для публикации 7 июля 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Евгений Николаевич Неверов** — доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой техносферной безопасности; **Кемеровский государственный университет (КемГУ)**; 650000, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6; РИНЦ ID: 7351-6740, Scopus: 57205447914, ResearcherID: H-3524-2017, ORCID: 0000-0002-3542-786X; neverov42@mail.ru;

Игорь Алексеевич Короткий — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплохладотехники; **Кемеровский государственный университет (КемГУ)**; 650000, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6; РИНЦ ID: 352206, Scopus: 57190978039, ResearcherID: B-9806-2018, ORCID: 0000-0002-7623-0940; krot69@mail.ru;

Павел Сергеевич Коротких — старший преподаватель кафедры теплохладотехники; **Кемеровский государственный университет (КемГУ)**; 650000, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6; РИНЦ ID: 1055421, Scopus: 57207457349, ResearcherID: GYD-7158-2022, ORCID: 0000-0002-4546-0276; korotkix42@gmail.com;

Александр Николаевич Расщепкин — доктор технических наук, доцент кафедры теплохладотехники; **Кемеровский государственный университет (КемГУ)**; 650000, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6; SPIN-код: 8124-4667, Scopus: 57216432381, ORCID: 0000-0002-6578-5545; technoholod@mail.ru;

Сайль Алексеевич Самар — студент; **Кемеровский государственный университет (КемГУ)**; 650000, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6; ORCID: 0000-0002-6441-9527; johby-fox@mail.ru.

Вклад авторов:

Неверов Е.Н. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, участие в разработке учебных программ и их реализации, написание исходного текста.

Короткий И.А. — участие в разработке учебных программ и их реализации, редактирование текста.

Коротких П.С. — участие в разработке учебных программ и их реализации, редактирование текста.

Расщепкин А.Н. — участие в разработке учебных программ и их реализации, редактирование текста.

Самар С.А. — обработка материалов, редактирование текста, оформление текста, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Kuzmicheva I.G. Mineral wool. *Science and Education: Trends and Prospects*. 2017; 3-4. EDN ZUVFWB. (rus.).

2. Mestnikov A.E. Forecasting the structure and properties of thermoreactive foams using the theory of heat resistance. *Modern High Technologies*. 2020; 11-2:299-304. DOI: 10.17513/snt.38378. EDN AEPICW. (rus.).

3. Kolosov R.A. Application foam as a building material. *Science, Education and Culture*. 2019; 8(42):23-24. EDN IMSLMM. (rus.).

4. Johnson G.R., Holmquist T.J., Chocron S., Scott N.L. Response of a polystyrene foam subjected to large strains and high pressures. *The European Physi-*

cal Journal Special Topics. 2018; 227(1-2):61-71. DOI: 10.1140/epjst/e2018-00072-8

5. Eskander S.B., Tawfik M.E., Tawfic M.L. Mechanical, flammability and thermal degradation characteristics of rice straw fiber-recycled polystyrene foam hard wood composites incorporating fire retardants. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2018; 132(2):1115-1124. DOI: 10.1007/s10973-018-6984-6

6. Montaser W.M., Shaaban I.G., Zaher A.H., Khan S.U., Sayed M.N. Structural behaviour of polystyrene foam lightweight concrete beams strengthened with FRP laminates. *International Journal of Concrete*

Structures and Materials. 2022; 16(1). DOI: 10.1186/s40069-022-00549-1

7. Yuan C., Wenhua Z., Lei Z., Wanting Z., Yunsheng Z. Dynamic impact compressive performance of expanded polystyrene (EPS)-foamed concrete. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2022; 22(4). DOI: 10.1007/s43452-022-00486-6

8. Gunchenko T.S., Burlutskaya V.G. Comparative analysis of insulation parameters based on polymer materials: foam and extruded polystyrene foam. *IV International Student Building Forum – 2019 : collection of reports (To the 65th anniversary of BSTU named after V.G. Shukhov)*. 2019; 260-266. EDN NXVNGS. (rus.).

9. Petryuk I.P. Modeling the strength characteristics of foam plastics. *Plasticheskie massy*. 2020; 5-6:36-37. DOI: 10.35164/0554-2901-2020-5-6-36-37. EDN XBOBDJ. (rus.).

10. Malai A., Youwai S. Stiffness of expanded polystyrene foam for different stress states. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*. 2021; 7(4). DOI: 10.1007/s40891-021-00321-7

11. Proskurova I.D., Akhatov T.R. Research of the application of mineral water insulation of buildings and structures. *Problems of ensuring chemical safety : collection of proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference*. 2021; 56-60. EDN KGHMUY. (rus.).

12. Porkar B., Atmianlu P.A., Mahdavi M., Baghdadi M., Farimaniraad H., Ali Abdoli M. Chemical modification of polystyrene foam using functionalized chitosan with dithiocarbamate as an adsorbent for mercury removal from aqueous solutions. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2023; 40(4):892-902. DOI: 10.1007/s11814-023-1387-1

13. He J., Wu H., Zhong L., Zhong Q., Yang Q., Ye X. et al. Mechanical properties and thermal conductivity of lightweight and high-strength carbon-graphite thermal insulation materials. *Journal of Materials Sci-*

ence. 2022; 57(6):4166-4179. DOI: 10.1007/s10853-021-06862-6

14. Akan A.E. Determination and Modeling of Optimum insulation thickness for thermal insulation of buildings in all city centers of Turkey. *International Journal of Thermophysics*. 2021; 42(4). DOI: 10.1007/s10765-021-02799-9

15. Zhao R., Guo H., Yi X., Gao W., Zhang H., Bai Y. et al. Research on thermal insulation properties of plant fiber composite building material : a review. *International Journal of Thermophysics*. 2020; 41(6). DOI: 10.1007/s10765-020-02665-0

16. Luo C., Zhao Z., Zhang D., Li C., Liu C., Li Y. et al. Temperature effect on the thermal properties of insulation paper. *Electrical Engineering*. 2021; 103(2):1083-1091. DOI: 10.1007/s00202-020-01129-w

17. Akhmetova I.G., Lapin K.V., Akhmetov T.R., Balzamova E.Yu. Applying modern information technologies for thermal energy accounting in the operational search for humidification of thermal insulation. *Thermal Engineering*. 2021; 68(5):410-416. DOI: 10.1134/S0040601521040017

18. Plotnikov A.A. Stabilizing the temperature regime of a frozen foundation bed using thermal insulation and cooling mechanisms. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2020; 57(4):329-335. DOI: 10.1007/s11204-020-09674-z

19. Aniskin N.A., Chuc N.T., Khanh P.K. The use of surface thermal insulation to regulate the temperature regime of a mass concrete during construction. *Power Technology and Engineering*. 2021; 55(1):1-7. DOI: 10.1007/s10749-021-01310-6

20. Danaci H.M., Akin N. Thermal insulation materials in architecture: a comparative test study with aerogel and rock wool. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022; 29(48):72979-72990. DOI: 10.1007/s11356-022-20927-2

Received April 7, 2023.

Adopted in revised form on June 5, 2023.

Approved for publication on July 7, 2023.

B I O N O T E S : **Evgeniy N. Neverov** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technosphere Security; **Kemerovo State University (KemSU)**; 6 Krasnaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation; ID RSCI: 7351-6740, Scopus: 57205447914, ResearcherID: H-3524-2017, ORCID: 0000-0002-3542-786X; neverov42@mail.ru;

Igor A. Korotkiy — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Heat and Cooling Engineering; **Kemerovo State University (KemSU)**; 6 Krasnaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation; ID RSCI: 352206, Scopus: 57190978039, ResearcherID: B-9806-2018, ORCID: 0000-0002-7623-0940; krot69@mail.ru;

Pavel S. Korotkih — senior lecturer of the Department of Heat and Cooling Engineering; **Kemerovo State University (KemSU)**; 6 Krasnaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation; ID RSCI: 1055421, Scopus: 57207457349, ResearcherID: GYD-7158-2022, ORCID: 0000-0002-4546-0276; korotkix42@gmail.com;

Alexander N. Rasshchepkin — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat and Cooling Engineering; **Kemerovo State University (KemSU)**; 6 Krasnaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation; SPIN-code: 8124-4667, Scopus: 57216432381, ORCID: 0000-0002-6578-5545; technoholod@mail.ru;

Sail A. Samar — student; **Kemerovo State University (KemSU)**; 6 Krasnaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-6441-9527; johby-fox@mail.ru.

Contribution of the authors:

Evgeniy N. Neverov — scientific guidance, research concept, methodological research, place in the development of local programs and operations, writing the source text.

Igor A. Korotkiy — areas in the development of local programs for their implementation, text storage.

Pavel S. Korotkih — areas in the development of local programs for their implementations, text storage.

Alexander N. Rasshchepkin — areas in the development of local programs for their implementation, text storage.

Sail A. Samar — material processing, text editing, text storage, texture modification, text processing, final results.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Water Flow Parameters on the Symmetry Axis and Extreme Line of Current

Olga A. Burtseva, Maria S. Aleksandrova

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI); Novocherkassk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. An analysis of mathematical models of two-dimensional planned flows was carried out. Such flows are characterized by local depth-averaged velocities and local depths at each point of the flow. The mathematical model formation of the water flow is based on its division into several sections. There is a section where the flow parameters (velocity, depth, width) are kept constant at the stage of flow exit from the pipe — the inertial front. The purpose of the article and its relevance are defined.

Materials and methods. By introducing dimensionless complexes on the basis of π -theorem, the formula for the length of inertial front of the water flow at its spreading from a rectangular pipe into a wide diverting channel is derived. An analogy from gas dynamics is used, namely, the transition to the plane of the velocity hodograph. Using the velocity hodograph, the distribution of depths and velocities of the flow along its longitudinal axis of symmetry and along the extreme line of current was obtained. The main computation tasks for the flow parameters have been formulated.

Results. Numerical calculations of the formulated main tasks for determining flow parameters are described. Comparison with experimental data is given and the adequacy of the refined mathematical model of a two-dimensional planned flow is confirmed.

Conclusions. The resulting formula for the length of the inertial front makes it possible to achieve the desired error in calculating the parameters of the water flow. With flow expansions up to 5, the relative error of the ordinates and flow velocities does not exceed 7–10 %. Calculation formulas and implemented programs will allow HTS designers to quickly and accurately determine the boundaries, speed and depth of free flow on the culvert.

KEYWORDS: mathematical model, hydrodynamics analysis, two-dimensional water flow, open-channel hydraulics, analytical solution

Acknowledgements. The authors are grateful to Doctor of Technical Sciences, Professor of the South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov Viktor Nikolaevich Kokhanenko for a number of remarks, which were subsequently eliminated. The authors will be grateful to the reviewers for comments and advice that will help improve the paper, thereby raising its level.

FOR CITATION: Burtseva O.A., Aleksandrova M.S. Water Flow Parameters on the Symmetry Axis and Extreme Line of Current. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1262-1271. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1262-1271 (rus.).

Corresponding author: Olga A. Burtseva, kuzinaolga@yandex.ru.

Параметры водного потока на оси симметрии и крайней линии тока

Ольга Александровна Бурцева, Мария Сергеевна Александрова

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
(ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова); г. Новочеркасск, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Проведен анализ математических моделей двумерных плановых потоков. Такие потоки характеризуются местными осредненными скоростями по глубине и местными глубинами в каждой точке потока. Формирование математической модели водного потока основано на его разделении на несколько участков. На этапе выхода потока из трубы имеется участок, где сохраняются постоянными параметры потока (скорость, глубина, ширина) — инерционный фронт. Определена цель статьи и ее актуальность.

Материалы и методы. Введением безразмерных комплексов и на основе π -теоремы выведена формула длины инерционного фронта водного потока при его растекании из прямоугольной трубы в широкое отводящее русло. Использована аналогия из газовой динамики, а именно переход в плоскость годографа скорости потока. С использованием годографа скорости получены законы распределения глубин и скоростей потока вдоль его продольной оси симметрии и вдоль крайней линии тока. Сформулированы основные задачи расчета параметров потока.

Результаты. Описаны числовые расчеты сформулированных основных задач определения параметров потока.

Приводится сравнение с экспериментальными данными и подтверждается адекватность уточненной математической модели двумерного планового потока.

Выводы. Полученная формула длины инерционного фронта позволяет добиться желаемой погрешности расчета параметров водного потока. При расширениях потока до 5 относительная погрешность ординат и скоростей потока не превышает 7–10 %. Расчетные формулы и реализованные программы позволят проектировщикам ГТС быстрее и точнее определить границы, скорость и глубину безнапорного потока над водопропускной трубой.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: математическая модель, гидродинамический анализ, двумерный поток воды, гидравлика открытого канала, аналитическое решение

Благодарности. Авторы выражают благодарность д.т.н., профессору Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова Виктору Николаевичу Коханенко за ряд замечаний, которые в дальнейшем были устранены. Авторы будут признательны рецензентам за замечания и советы, которые помогут улучшить статью, тем самым повысить ее уровень.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бурцева О.А., Александрова М.С. Water flow parameters on the symmetry axis and extreme current line // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 8. С. 1262–1271. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1262-1271

Автор, ответственный за переписку: Ольга Александровна Бурцева, kuzinaolga@yandex.ru.

INTRODUCTION

The subject of research is open stationary water flows behind an unpressurised opening of rectangular cross-section, with a small vertical velocity component, namely, two-dimensional planar flows. The theory and methods for solving problems of planar hydraulics are most fully described in monographs by G.I. Sukhomel, I.I. Levi and I.A. Sherenkov [1], B.T. Emtsev [2] and V.N. Kokhanenko [3].

Often, when designing hydraulic structures, it is necessary to know the characteristics of open water flows, for which the Froude criterion is greater than one. These streams are: with free spreading of the flow from open channels or free-flow pipes into a wide channel; during the flow of flows in the connections of channels of different widths; in open spillways behind hydroelectric power plants; in case of river floods behind culvert road structures; behind small bridges. According to the nature of the flow of a turbulent water flow through a non-pressure pipe, non-pressure and semi-pressure flow regimes are considered.

Open water flow in a suddenly opening channel can have velocities substantially exceeding the permissible velocities for the unstrengthened part of the channel. As shown by field surveys conducted by the authors [1, 4], the main cause of destruction of hydraulic structures is dangerous erosion of the downstream. Therefore, to calculate the anchorage of the outlet channel, hydraulic engineering structures designers need information on the flow parameters in the vicinity of the outlet edge of the pipe. Therefore, the relevance of this work is confirmed.

A water flow model behind an unconfined outlet has several sections [3–8]. In works [3–21] the parameters and shape of free-diffusion region of turbulent flow at its outflow from unpressurized pipe into wide diversionary channel is determined experimentally and analytically. In [22, 23] a formula for inertial front length of flow at the tube outlet is given. However, there is no sufficient justification for this formula.

The purpose of this paper is to derive the formula for the inertial front length on the basis of dimension

theory and π -theorem, as well as testing its appropriateness in calculating the parameters of water flows.

MATERIALS AND METHODS

There are basic units of measurement in any system of units. They are introduced from experience with the help of standards. In the SI, for example, the basic units are the meter, the second, and the kilogramme. The expression of an arbitrary unit of measurement in the basic units is called the dimensionality. For each basic unit, a notation is introduced: L is length, T is time, M is mass, etc. The theory of dimensionality proves [24, 25], that the dimension of any quantity is a degree monomial of the form $[N] = L^l \cdot T^t \cdot M^m \dots$ and is called the dimension formula. The statement sought follows from the fact that the ratio of two numerical values of a physical quantity should not depend on the choice of scales for the basic units of measurement.

π -theorem. A relation, independent of the choice of units, between n dimensional quantities, k of which have independent dimensions, can be represented as a relation between $(n-k)$ quantities which are dimensionless combinations of n dimensional quantities.

Formula for the length of the inertial front as it flows from a rectangular pipe into a wide diversion channel. Let us consider the problem of deriving a formula for the length of the inertial front X_D^I . The need to derive the formula is justified by the fact that along the inertial front all flow parameters retain their values. Hence, the formulas [3, 5] for calculating the flow parameters will change.

The process of free flowing of supercritical unconfined potential flow into a wide diversionary channel is determined by four parameters with:

- culvert width b , cm;
- depth of flow in the pipe h_0 , cm;
- initial velocity of the flow V_0 , cm/s;
- free fall acceleration $g = 981$, cm/s².

We introduce dimensionless complexes characterizing the spreading process:

$$\frac{X_D}{h_0}; \frac{h_0}{b}; \frac{h_0}{H_0}, F_0 = \frac{V_0^2}{gh_0}, \theta_{\max},$$

where

$$H_0 = \frac{V_0^2}{2g} + h_0 \quad (1)$$

the constant in D . Bernoulli's integral, θ (radian) is an angle characterizing the slope of the velocity vector to the longitudinal axis of flow symmetry; $F_0 = 2\tau_0/(1-\tau_0)$. Froude's criterion and the square of the velocity coefficient $\tau_0 = V_0^2/2gH_0$, $\theta_{\max}$ is the maximum flow angle.

Thus, the number of independent units is $k = 2$, the dimensional quantities $n = 4$. The number of independent dimensionless complexes is $n - k = 2$, and there is a single equation linking these complexes.

To derive the structure of the formula X_D^I , we use formula (1) in the form:

$$H_0 = h_0 \left[\frac{V_0^2}{2gh_0} + 1 \right] \Rightarrow \frac{H_0}{h_0} = \frac{F_0}{2} + 1 \Rightarrow \Rightarrow \frac{h_0}{H_0} = \frac{2}{F_0 + 2}.$$

Assume that X_D^I is proportional to X^* . From Figure shows that:

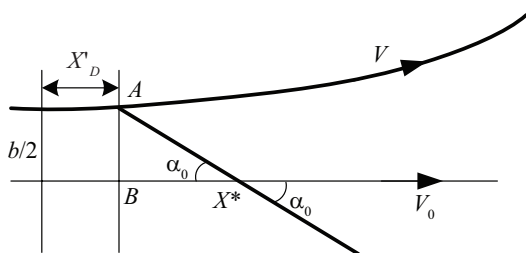
$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{b/2}{X^*},$$

where we get

$$X^* = \frac{b/2}{\operatorname{tg} \alpha_0},$$

where α_0 is the wave angle [3] defined by the expression:

$$\alpha_0 = \arcsin \frac{1}{\sqrt{F_0}}.$$



To determine the initial abscissa of the flow

Next, we will prove that $X_D^I \propto h_0/b$ and $X_D^I \propto X^{*1}$. It's obvious that:

$$X_D^I \propto \frac{1}{\sin \theta_{\max}}.$$

Consider the fall time of the water and the time of its inertial motion. Let $h_0 = 10$ cm, $V_0 = 100$ cm/s, $X_T^I = 4$ cm, then the free fall time of a liquid particle from a height of h_0 will take the form:

$$t_f = \sqrt{\frac{2h_0}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10}{1,000}} = \sqrt{\frac{1}{50}} = 0.145 \text{ s},$$

and the time of inertia travel $t_i = X_D/V_0 = 4/100 = 0.04$ s. The inertia time of a water particle is 4 times shorter than its fall time. Thus, the water, before it has time to fly away, comes out of the pipe as a jet. Therefore, the greater the depth of the flow, the greater the length of the inertial front, i.e. $X_T^I \propto h_0/b$, and $X_T^I \propto h_0/H_0$.

From the triangle ABC can be written (see Figure):

$$X_D^I \propto X^* = \frac{b}{2 \operatorname{tg} \alpha_0}, \quad \sin \alpha_0 = \frac{1}{\sqrt{F_0}}, \quad \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{1}{\sqrt{F_0 - 1}},$$

then [3]:

$$X^* = \frac{b \sqrt{F_0 - 1}}{2}.$$

Let the initial abscissa of the flow X^* be directly proportional to the length of the inertial front X_D^I , and also directly proportional to the flow depth h_0 and inversely proportional to $\sin \theta_{\max}$:

$$X_D^I \propto \frac{b \sqrt{F_0 - 1}}{2}, \quad X_D^I \propto \frac{h_0}{H_0}, \\ X_D^I \propto \frac{h_0}{b}, \quad X_D^I \propto \frac{1}{\sin \theta_{\max}},$$

we get the structure of the formula:

$$X_D^I \approx \frac{b \sqrt{F_0 - 1}}{2} \frac{1}{\sin \theta_{\max}} \times \\ \times \frac{h_0}{b} \frac{h_0}{H_0} \approx h_0 \frac{\sqrt{F_0 - 1}}{2} \frac{1}{\sin \theta_{\max}} \frac{2}{(F_0 + 2)}.$$

Whence can be written:

$$\frac{X_D^I}{h_0} \propto \frac{\sqrt{F_0 - 1}}{F_0 + 2} \frac{1}{\sin \theta_{\max}}.$$

As a result of regression analysis applied to the experimental data, the authors obtained a formula for the length of the inertial front of the flow when it spreads from a rectangular tube into a wide diversionary channel in the form of:

$$X_D^I = \operatorname{trunc} \left[\frac{\sqrt{F_0 - 1}}{F_0 + 2} \frac{1}{\sin \theta_{\max}} h_0 \right] + 1,$$

¹ The sign $\propto$ denotes the proportionality of the quantities.

which is verified by experiment. Here “1” is taken in length units: for the experiment, it is a centimeter, for nature calculations it is a meter.

Determination the distribution law of the depth and velocity along its longitudinal symmetry axis. The dynamic equations of motion of a two-dimensional open flow are obtained from the equations of L. Euler, supplementing them with terms that take into account the resistance forces. Complications also arise when taking into account the slope of the bottom of the conduit, i.e. the need to take into account the influence of gravity. As a result, the system of equations of motion and continuity of the flow form a system of essentially non-linear partial differential equations, the analytical solution of which has not been found so far.

The study of the flow equations begins with the simplest case.

Where in:

- resistance forces are neglected (it is true for supercritical flows passing through a narrowing, or an expansion, or a bend in the channel, since in these cases, inertial forces have a predominant effect on the flow);
- movement is considered potential;
- the bottom of the flow is assumed to be horizontal.

In this case, the equations of motion of a two-dimensional supercritical flow turn out to be similar to the equations of plane gas motion at supersonic speeds. Therefore, many known results of gas dynamics can be applied to supercritical flows [2]. Let's use the known method of S.A. Chaplygin to move to the velocity hodograph plane, that is, we pass from the coordinates in the plane to the variables of the velocity vector and its angle of inclination to the axis of symmetry of the flow. In this case, the nonlinear system of equations is reduced to a linear system of equations in partial derivatives, which greatly facilitates its study.

Using the velocity hodograph plane [2, 3], a differential complex relation between the flow plan and the velocity hodograph plane can be established in the form of a generalizing relationship between the conjugate velocity and the derivative of the complex potential along the coordinate [3]:

$$dz = dx + idy = \left(d\varphi + i \frac{h_0}{h} d\psi \right) \frac{1}{V} e^{i\theta}, \quad (2)$$

where θ is the angle characterizing the direction of the velocity vector to the axis Ox ; V is the modulus of the liquid particle velocity vector.

The main system of planned equations of motion for stationary, potential water flows without taking into

account the internal friction of the flow and its friction against the channel has the form^{2,3} [2, 3, 22]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \varphi}{\partial \tau} = -\frac{h_0}{2H_0} \frac{1-3\tau}{\tau(1-\tau)^2} \frac{\psi}{\partial \theta}, \\ \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} = \frac{2h_0}{H_0} \frac{\tau}{1-\tau} \frac{\partial \psi}{\partial \tau}. \end{cases} \quad (3)$$

One of the solutions to system (3) are the stream functions and the potential function of the form:

$$\begin{aligned} \psi &= \frac{A}{\tau^{1/2}} \sin \theta; \\ \varphi &= A \frac{h_0}{H_0} \frac{\cos \theta}{\tau^{1/2}(1-\tau)}. \end{aligned} \quad (4)$$

Assuming along the streamline $d\psi = 0$, and taking into account that on the axis of symmetry of the flow $\theta = 0$ taking into account (2) and (4), we obtain an ordinary differential equation relating dx , $d\tau$:

$$dx = \frac{Ah_0}{2H_0\sqrt{2gH_0}} \frac{(3\tau-1)}{\tau^2(1-\tau)^2} d\tau, \quad (5)$$

where indicated $A = V_0 b / 2 \sin \theta_{\max}$ — constant for the entire flow; τ is the parameter of the flow kinetics.

Integration of equation (5) taking into account the initial conditions $x = X_D^I + X^*$, $\tau = \tau_0$ allows you to get a dependency of the form:

$$\begin{aligned} x &= X_D^I + X^* + \frac{Ah_0}{2H_0\sqrt{2gH_0}} \times \\ &\times \left[\frac{1+\tau}{\tau(1-\tau)} - \ln \frac{1-\tau}{\tau} - \frac{1+\tau_0}{\tau_0(1-\tau_0)} + \ln \frac{1-\tau_0}{\tau_0} \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

The values of the flow velocity and its depth are found by the formulas [6]:

$$\begin{aligned} V &= \tau^{1/2} \sqrt{2H_0 g}; \\ h_n &= H_n(1-\tau). \end{aligned} \quad (7)$$

The following problems [22, 23] can be solved using the formula (6).

Problem 1. By setting the kinetics parameter on the flow symmetry axis, the abscissa of this point on the symmetry axis, counting from the edge of the pipe, can be determined, then the depth at this point and the flow velocity can be found.

Problem 2. By setting the abscissa of a point on the longitudinal axis of flow symmetry, the kinetic

² Certificate of state registration of computer programs No. 2022618552. Determination of Parameters of a Freely Spreading Flow. Burtseva O.A. et al. 05.12.2022.

³ Certificate of state registration of computer programs No. 2022666655. Determination of Flow Parameters Along the Extreme Current Line. Aleksandrova M.S. 08.29.2022.

parameter can be found from equation (5), and further, the flow velocity and depth at that point can be determined.

Problem 3. By setting the flow depth, it is possible to determine the flow velocity, the kinetics parameter, and then from equation (5) the abscissa of this point on the symmetry axis, counting from the pipe edge.

The set tasks are implemented as separate blocks in MathCad environment³.

Specifying the distribution law of the flow parameters along the outermost current line. To determine the coordinates of the outermost current line, the coupling equation between the physical flow plane and the velocity hodograph plane (2) is used.

For the current and potential functions from equation (2), taking into account solution (4), we obtain a system of differential equations that is valid along the outermost flow line [3]:

$$\begin{cases} dx = -\frac{Ah_0 \cos \theta}{2H_0 \tau^{1/2} \sqrt{2gH_0}} \times \\ \times \left[\frac{(1-3\tau) \cos \theta}{2\tau(1-\tau)^2} \frac{d\tau}{\tau^{1/2}} + \frac{\tau \sin \theta}{1-\tau} \frac{d\theta}{\tau^{3/2}} \right], \\ dy = -\frac{Ah_0 \sin \theta}{2H_0 \tau^{1/2} \sqrt{2gH_0}} \times \\ \times \left[\frac{(1-3\tau) \cos \theta}{2\tau(1-\tau)^2} \frac{d\tau}{\tau^{1/2}} + \frac{\tau \sin \theta}{1-\tau} \frac{d\theta}{\tau^{3/2}} \right]. \end{cases} \quad (8)$$

Along the outermost flow line the dependence is valid [3, 12]:

$$\frac{\sin \theta}{\tau^{1/2}} = \sin \theta_{\max}. \quad (9)$$

Since along the outermost flow line $d\psi = 0$, then from the first equation of the system (4) we obtain the connection between the parameters:

$$\cos \theta d\theta = 1/2 \sin \theta \frac{d\tau}{\tau}. \quad (10)$$

Equation (10), taking into account dependence (9), is reduced to the form:

$$\cos \theta d\theta = 1/2 \frac{d\tau}{\tau^{1/2}} \sin \theta_{\max}.$$

Taking into account the transformations made above, we transform the system of equations (7) to the form:

$$\begin{cases} dx = \frac{Ah_0}{2H_0 \sqrt{2gH_0}} \left[\frac{3\tau-1}{\tau^2(1-\tau)^2} - \frac{2\sin^2 \theta_{\max}}{(1-\tau)^2} \right] d\tau, \\ dy = \frac{Ah_0}{H_0 \sqrt{2gH_0}} d \left[\frac{\cos \theta}{\tau^{1/2}(1-\tau)} \right]. \end{cases} \quad (11)$$

Integration of system (11) allows one to obtain the parametric equations of the outermost flow line in the form [3]:

$$\begin{cases} x = X_D' + \frac{Ah_0}{2H_0 \sqrt{2gH_0}} \left[\frac{1+\tau}{\tau(1-\tau)} - \frac{2\sin^2 \theta_{\max}}{1-\tau} - \right. \\ \left. - \ln \frac{1-\tau}{\tau} - \frac{1+\tau_k}{\tau_k(1-\tau_k)} + \frac{2\sin^2 \theta_{\max}}{1-\tau_k} + \ln \frac{1-\tau_k}{\tau_k} \right] d\tau, \\ y = \frac{b}{2} + \frac{Ah_0 \sin^2 \theta_{\max}}{H_0 \sqrt{2gH_0}} \left[\frac{\cos \theta}{\tau^{1/2}(1-\tau)} - \frac{\cos \theta_k}{\tau_k^{1/2}(1-\tau_k)} \right]. \end{cases} \quad (12)$$

System of equations (12) at known parameters θ_k and τ_k [3] at the corner point of the outlet edge pipe of the outermost flow line allows to determine the coordinates of the very point X, Y of an arbitrary point of the outermost flow line.

Using the system of equations (12) the following problems can be solved.

Problem 4. On the equipotentiality, the kinetic flow parameters and the angle of inclination of the flow velocity vector to the longitudinal axis of symmetry have the same value. By setting the parameter τ_w at the point W on the flow symmetry axis, it is possible to determine the parameters τ_c, θ_c of the point C at the outermost flow line and then the coordinates x_c, y_c of this point. And further changing the parameter τ_w , we obtain a set of points outermost flow line.

Problem 5. Assuming in the first equation of the system (12) $x = x_c$, we determine the kinetic parameter τ_c at the point C of the flow at the outermost flow line and then the angle of the velocity vector to the longitudinal axis of symmetry of the flow θ_c at this point. Substituting the found flux kineticity into the second equation of the system (12), we determine the ordinate of the outermost flow line y_c .

Thus, given a flow extension $\beta_c = V_c/b_0$ it is possible to estimate the distance mismatch for a selected flow cross-section.

The authors of this study are actively pursuing research in this area, improving and refining the proposed algorithms.

RESULTS

Let us consider the tasks. Experimental data on the free spreading of the flow behind a rectangular culvert are borrowed from [3], where the experimental setup, flow measuring instruments, other details of the experiment are described in detail, see Table 1. The article presents only the results of a numerical calculation using the developed programs^{2,3}.

The flow has the following characteristics:

- initial flow velocity $V_0 = 147.654$ cm/s;
- initial flow depth relative to the bottom $h_0 = 9.27$ cm;
- acceleration of gravity $g = 981$ cm/s²;
- pipe width $b = 16$ cm.

Table 1. Point characteristics of free spreading of the plan flow

X_E , cm	4	24	44	64	71
Y_E , cm	9.5	38	59	76	80
h , cm	8.5	2.66	1.54	1.12	1.09
V , cm/s	151.928	186.461	191.243	192.714	191.49

Next we find:

- Froude’s number $F_0 = 2.397$;
- hydrodynamic pressure $H_0 = 20.382$ cm;
- initial flow kinetics $\tau_0 = 0.545$;
- inertial front length $X_D^I = 3$ cm;
- wave angle at a point M_0 $\alpha_0 = 0.702$ r or $\alpha_0 = 40^\circ 23'$.

1. Let us set a kinetic parameter on flow symmetry axis, dividing segment $[\tau_0, 1]$ into equal parts in increments $\Delta\tau = 4.548 \cdot 10^{-3}$. Then we calculate the abscissa on the symmetry axis corresponding to the value of kinetic flow according to formula (6). Then we determine flow velocities and depths at the corresponding point. The results are given in Table 2. For the sake of convenience, the data for points where abscissa are close to experimental values are given.

Table 2. Determination of the abscissa on the longitudinal axis of the flow according to a given value of the kinetic parameter

Step number	τ_i	X_p , cm	V_p , cm/s	h_p , cm
70	0.864	24.477	185.831	2.772
83	0.923	43.493	192.087	1.569
89	0.95	66.978	194.907	1.121
90	0.955	73.612	195.373	1.019

2. In order to determine the kinetic parameter of the flow, let us set an abscissa on its longitudinal axis with the least deviation with experimental data, for instance 4 cm step. Solving equation (6), we find the only root corresponding to the kinetic parameter at the point on the longitudinal axis of the stream with given abscissa. Then we find the velocity and the depth of the flow at the given point. The results of the problem solution are given in Table 3.

3. The depth of flow h we set, using the calculations in problem 2. The kinetic parameter is determined from formula (7). Then we find abscissa on flow symmetry axis corresponding to this kinetic parameter from equation (6),

Table 3. Determination of the kinetic parameter for a given abscissa

Step number	τ_i	X_p , cm	V_p , cm/s	h_p , cm
6	0.861	24	185.548	2.834
11	0.924	44	192.179	1.558
16	0.948	64	194.664	1.068
18	0.953	72	195.267	0.948

then find flow velocity. The results of the problem solution are given in Table 4. For the convenience of analysis, the data at the same points as in Table 3 are given.

It should be noted that there is no discrepancy between the calculated data in Table 3 and Table 4. This is due to the fact that the calculation is performed using analytical relationships.

Table 4. Definitions of the kinetic parameter, point abscissa and flow velocity on the axis of symmetry for a given flow depth

Step number	τ_i	X_p , cm	V_p , cm/s	h_p , cm
6	0.861	24	185.548	2.834
11	0.924	44	192.179	1.558
16	0.948	64	194.664	1.068
18	0.953	72	195.267	0.948

4. Now let us consider the determination of flow parameters along the outermost flow line. From the second equation of system (4) it is seen that an equipotential can be singled out by a specific value of the parameter τ on the flow symmetry axis. By setting the parameter τ_0 for the point M_0 (Figure) on the flow symmetry axis, we determine the parameters τ_c, θ_c followed by the coordinates x_c, y_c of the point C on the outermost flow line corresponding to this equipotentiality. Then by changing the kinetic parameter (e.g. with a constant step) we obtain the set of points of the outermost flow line.

5. Assuming in the first equation of the system (12) $x = x_c$ we determine the kinetic parameter τ_c at the point C of the flow at the outermost flow line and then the angle of the velocity vector to the longitudinal axis of symmetry of the flow θ_c at this point. Substituting the found flux kineticity into the second equation of the system (12), let us determine the ordinate of the outermost flow line y_c . The results coincide with the numerical experiment described in the previous paragraph.

The numerical experiment consisted in calculating the values of the kinetic parameter, the angle of inclination of the flow velocity vector to the symmetry axis and the coordinates of the points on the outermost flow line. The results are given in Table 5. In order to determine the adequacy of the parameter calculation algorithm, a relative error of the flow ordinate has been calculated in comparison with experimental data.

CONCLUSIONS

The formation of a mathematical model of water flow is based on its division into several sections. At the stage of flow exit from the pipe there is a section where flow parameters (velocity, depth, width) are kept constant — inertial front. The formula of the inertial front length of the water stream has been derived at its spread from a rectangular pipe into a wide outlet

Table 5. Definitions of the kinetic parameter, the angle of inclination of the flow velocity vector to the axis of symmetry, and the ordinate of points on the extreme streamline according to the given kinetic parameters on the axis of symmetry of the flow

Step number	X_r , cm	τ_l on the axis of symmetry	τ_{Cl} on outermost flow line	θ_{Cl}	Y_{Cl} , cm/s	$\frac{ Y_{Cl} - Y_e }{Y_{Cl}} 100\%$
0	0	0.545	0.545	0.661	8	0
1	4	0.545	0.731	0.791	8.97	5.914
6	24	0.861	0.952	0.946	34.926	9.854
11	44	0.924	0.975	0.963	63.3	6.241
16	64	0.948	0.983	0.969	92.257	17.275
18	72	0.953	0.985	0.97	103.922	22.729

channel by introducing dimensionless complexes and on the base of π -theorem.

Obtained formula for the length of the inertial front, allows us to achieve the desired error. At flow extensions up to 5, relative errors of ordinates and flow velocities do not exceed 7–10 %. At steps 16 and 18 the error is more than 10 %. This can be explained by the fact that these points are close to the transition zone. This area should be investigated further.

Using analogies from gas dynamics, namely the transition to the flow velocity hodograph plane, it is possible to obtain the depth and velocity distribution laws along the longitudinal axis of symmetry and along the outermost flow line. With the help of system of equations (12) set tasks have been successfully solved. Software has been developed for realization of these algorithms. On the basis of experimental data, the adequacy of the refined mathematical model of two-dimensional planar flow has been proved.

REFERENCES

1. Sherenkov I.A. Experimental studies of the spreading of a turbulent flow behind the outlet heads of culverts. *Proceedings of the joint seminar on hydraulic engineering and water management construction*. Kharkiv, 1958; 1:39-43. (rus.).

2. Emcev B.T. *Two-dimensional turbulent flows*. Moscow, Energiya Publ., 1967; 212. (rus.).

3. Kokhanenko V.N., Volosukhin Ya.V., Lemeshko M.A., Papchenko N.G. *Modeling of stormy two-dimensional in plane water flows*. Rostov-on-Don, Southern Federal University Publ., 2013; 180. (rus.).

4. Konstantinov N.M. Some issues of the hydraulics of the tailwater of small road culverts with free spreading of a turbulent flow. *Hydraulics of road culverts*. 1969; 255-269. (rus.).

5. Kosichenko N.V. About the petal of the free flow of a turbulent stream into a wide fortified channel. *Prirodoobustroystvo (Environmental Engineering)*. 2011; 3:58-62. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/olepestke-svobodnogo-rastekaniya-burnogo-potoka-v-shirokoe-ukreplennoe-ruslo> (rus.).

6. Kosichenko N.V. Analysis of the study and refinement of methods for free flow spreading behind non-pressure culverts. *Bulletin of the Saratov State Agrarian University*. 2011; 9:27-33. (rus.).

7. Kohanenko V.N., Mitsik M.F., Kosichenko N.V. The more accurate equation of the extreme line current in the hodograph plane speed in free flow stormy spreading for unpressurised pipes. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus region. Technical Sciences*. 2013; 1:33-35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/utochnennoe-uravnenie-krayney-linii-toka-v-ploskosti-godografa-skorosti-v-zadache-svobodnogo-rastekaniya-burnogo-potoka-za-beznapornymi> (rus.).

8. Micik M.F., Kohanenko N.V., Kosichenko N.V. Determination of parameters of a turbulent flow, freely spreading from a pressureless tube in a broad channel without the flooding of the lower canal pond. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2013; 4:52-56. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21306122> (rus.).

9. Tang S.L., Antonia R.A., Djenidi L., Abe H., Zhou T., Danaila L., Zhou Y. Transport equation for the mean turbulent energy dissipation rate on the centreline of a fully developed channel flow. *Journal of Fluid Mechanics*. 2015; 777:151-177. DOI: 10.1017/jfm.2015.342

10. Anderson W., Barros J.M., Christensen K.T., Awasthi A. Numerical and experimental study of mechanisms responsible for turbulent secondary flows in boundary layerflows over spanwise heterogeneous roughness. *Journal of Fluid Mechanics*. 2015; 768:316-347. DOI: 10.1017/jfm.2015.91

11. Aranda J.Á., Beneyto C., Sánchez-Juny M., Bladé E. Efficient design of road drainage systems. *Water*. 2021; 13:1661. DOI.org/10.3390/w13121661.

12. Anees M.T., Abdullah K., Nordin M.N., Rahman N.N., Syakir M.I., Kadir M.O. One- and two-dimensional hydrological modelling and their uncertain-

ties. *Flood Risk Management*. 2017; 11:221-244. DOI: 10.5772/intechopen.68924.

13. Nematollahi B., Abedini M.J. Analytical solution of gradually varied flow equation in non-prismatic channels. *Iranian Journal of Science and Technology — Transactions of Civil Engineering*. 2020; 44(1):251-258. DOI: 10.1007/s40996-019-00316-5

14. Hager W., Castro-Orgaz O. Transcritical flow in open channel hydraulics: from böss to de marchi. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2016; 142(1). DOI: 10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001091

15. Hager W. Unconfined expansion of supercritical water flow. *Journal of Engineering Mechanics*. 1997; 123(5):451-457. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9399(1997)123:5(451)

16. Liu J.L., Wang Z.Z., Zhao Y.F. Explicit equations for critical depth in open channels with complex compound cross sections. *Flow Measurement and Instrumentation*. 2012; 24:13-18. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2011.12.005

17. Chanson H. Explicit equations for critical depth in open channels with complex compound cross sections: A discussion. *Flow Measurement and Instrumentation*. 2013; 29:65-66. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2012.10.006

18. Castro-Orgaz O., Cantero-Chinchilla F.N. Non-linear shallow water flow modelling over topography with depth-averaged potential equations. *Environmental Fluid Mechanics*. 2020; 20(2):261-291. DOI: 10.1007/s10652-019-09691-z

19. Li J., Li S.S. Near-bed velocity and shear stress of open-channel flow over surface roughness.

Environmental Fluid Mechanics. 2020; 20(2):293-320. DOI: 10.1007/s10652-019-09728-3

20. Jesusdhas V., Balachandar R., Wang H., Murzyn F. Modelling hydraulic jumps: IDDES versus experiments. *Environmental Fluid Mechanics*. 2020; 20(2):393-413. DOI: 10.1007/s10652-019-09734-5

21. Leng X., Chanson H. Hybrid modelling of low velocity zones in box culverts to assist upstream fish passage. *Environmental Fluid Mechanics*. 2020; 20(2):415-432. DOI: 10.1007/s10652-019-09700-1

22. Kokhanenko V., Burtseva O., Kelekhsaev D. Here determination of the free flow maximum expansion into a wide diversion channel of turbulent water flow behind the non-pressure water throughput hole. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 753(3):032053. DOI: 10.1088/1757-899X/753/3/032053

23. Kohanenko V.N., Kelekhsaev D.B. Solution of the problem of determining the equation of the extreme streamline and the parameters along it taking into account the section XD. *Research Results — 2019: materials of the IV National Conference of the Faculty and Researchers (Novocherkassk, May 14, 2019)*. Novocherkassk, 113-117. (rus.).

24. Sedov L.I. *Methods of similarity and dimension in mechanics*. Moscow, Nauka Publ., 1977; 440. (rus.).

25. Romanov A.S., Semikolenov A.V., Taranenko S.N., Shahorin A.P. *Theory of similarity and dimension. Boundary layer*. Moskva, MGTU im. N.E. Bauman, 2011; 48. (rus.).

Received March 30, 2023.

Adopted in revised form on May 25, 2023.

Approved for publication on July 7, 2023.

B I O N O T E S : **Olga A. Burtseva** — Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Associate Professor of the Department of General Engineering Disciplines; **Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)**; 132 Prosveshcheniya st., Novocherkassk, 346428, Russian Federation; ID RSCI: 161751, Scopus: 650-7800-801, ResearcherID: ABG-9531-2020, ORCID: 0000-0003-4288-8709; kuzinaolga@yandex.ru;

Maria S. Alexandrova — postgraduate student of the Department General Engineering Disciplines; **Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)**; 132 Prosveshcheniya st., Novocherkassk, 346428, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-2901-7116; sergand1957@gmail.com.

Contribution of the authors:

Olga A. Burtseva — idea, writing an article, translating the text into English, editing the text after computer typing, final conclusions.

Maria S. Alexandrova — compilation of a program for calculating flow parameters, calculation by algorithms, verification of the adequacy of the mathematical model.

All authors have made an equivalent contribution to the publication and declare no conflicts of interest.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Шеренков И.А.* Экспериментальные исследования растекания бурного потока за выходными оголовками водопропускных сооружений // Труды

объединенного семинара по гидротехническому и водохозяйственному строительству. Харьков, 1958. Вып. 1. С. 39–43.

2. Емцев Б.Т. Двухмерные бурные потоки. М. : Энергия, 1967. 212 с.

3. Коханенко В.Н., Волосухин Я.В., Лемешко М.А., Папченко Н.Г. Моделирование бурных двухмерных в плане водных потоков. Ростов н/Д : Издательство Южного федерального университета, 2013. 180 с.

4. Константинов Н.М. Некоторые вопросы гидравлики нижнего бьефа малых дорожных водопропускных сооружений при свободном растекании бурного потока // Гидравлика дорожных водопропускных сооружений. 1969. С. 255–269.

5. Косиченко Н.В. О лепестке свободного растекания бурного потока в широкое укрепленное русло // Природообустройство. 2011. № 3. С. 58–62. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-lepestke-svobodnogo-rastekaniya-burnogo-potoka-v-shirokoe-ukreplennoe-ruslo>

6. Косиченко Н.В. Анализ изучения и уточнения методов свободного растекания потока за безнапорными водопропускными отверстиями // Вестник Саратовского ГАУ. 2011. № 9. С. 27–33.

7. Коханенко В.Н., Мицук М.Ф., Косиченко Н.В. Уточненное уравнение крайней линии тока в плоскости годографа скорости в задаче свободного растекания бурного потока за безнапорными водопропускными трубами // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2013. № 1. С. 33–35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/utochnennoe-uravnenie-krayney-linii-toka-v-ploskosti-godografa-skorosti-v-zadache-svobodnogo-rastekaniya-burnogo-potoka-zabeznapornymi>

8. Мицук М.Ф., Коханенко В.Н., Косиченко Н.В. Определение параметров свободно растекающегося бурного потока в окрестности его выхода из безнапорной прямоугольной трубы в широкое отводящее русло // Приволжский научный журнал. 2013. № 4. С. 52–56. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21306122>

9. Tang S.L., Antonia R.A., Djenidi L., Abe H., Zhou T., Danaila L., Zhou Y. Transport equation for the mean turbulent energy dissipation rate on the centreline of a fully developed channel flow // Journal of Fluid Mechanics. 2015. Vol. 777. Pp. 151–177. DOI: 10.1017/jfm.2015.342

10. Anderson W., Barros J.M., Christensen K.T., Awasthi A. Numerical and experimental study of mechanisms responsible for turbulent secondary flows in boundary layer flows over spanwise heterogeneous roughness // Journal of Fluid Mechanics. 2015; 768:316–347. DOI: 10.1017/jfm.2015.91

11. Aranda J.Á., Beneyto C., Sánchez-Juny M., Bladé E. Efficient design of road drainage systems // Water. 2021. Vol. 13. P. 1661. DOI: 10.3390/w13121661

12. Anees M.T., Abdullah K., Nordin M.N., Rahman N.N., Syakir M.I., Kadir M.O. One- and two-dimensional hydrological modelling and their

uncertainties // Flood Risk Management. 2017. Vol. 11. Pp. 221–244. DOI: 10.5772/intechopen.68924

13. Nematollahi B., Abedini M.J. Analytical solution of gradually varied flow equation in non-prismatic channels // Iranian Journal of Science and Technology — Transactions of Civil Engineering. 2020. Vol. 44. Issue 1. Pp. 251–258. DOI: 10.1007/s40996-019-00316-5

14. Hager W., Castro-Orgaz O. Transcritical flow in open channel hydraulics: from böss to de marchi // Journal of Hydraulic Engineering. 2016. Vol. 142. Issue 1. DOI: 10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001091

15. Hager W. Unconfined expansion of supercritical water flow // Journal of Engineering Mechanics. 1997. Vol. 123. Issue 5. Pp. 451–457. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9399(1997)123:5(451)

16. Liu J.L., Wang Z.Z., Leng C.J., Zhao Y.F. Explicit equations for critical depth in open channels with complex compound cross sections // Flow Measurement and Instrumentation. 2012. Vol. 24. Pp. 13–18. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2011.12.005

17. Chanson H. Explicit equations for critical depth in open channels with complex compound cross sections: A discussion // Flow Measurement and Instrumentation. 2013. Vol. 29. Pp. 65–66. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2012.10.006

18. Castro-Orgaz O., Cantero-Chinchilla F.N. Non-linear shallow water flow modelling over topography with depth-averaged potential equations // Environmental Fluid Mechanics. 2020. Vol. 20. Issue 2. Pp. 261–291. DOI: 10.1007/s10652-019-09691-z

19. Li J., Li S.S. Near-bed velocity and shear stress of open-channel flow over surface roughness // Environmental Fluid Mechanics. 2020. Vol. 20. Issue 2. Pp. 293–320. DOI: 10.1007/s10652-019-09728-3

20. Jesusdhas V., Balachandar R., Wang H., Murzyn F. Modelling hydraulic jumps: IDDES versus experiments // Environmental Fluid Mechanics. 2020. Vol. 20. Issue 2. Pp. 393–413. DOI: 10.1007/s10652-019-09734-5

21. Leng X., Chanson H. Hybrid modelling of low velocity zones in box culverts to assist upstream fish passage // Environmental Fluid Mechanics. 2020. Vol. 20. Issue 2. Pp. 415–432. DOI: 10.1007/s10652-019-09700-1

22. Kokhanenko V., Burtseva O., Kelekhsaev D. Here determination of the free flow maximum expansion into a wide diversion channel of turbulent water flow behind the non-pressure water throughput hole // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. Issue 3. P. 032053. DOI: 10.1088/1757-899X/753/3/032053

23. Коханенко В.Н., Келехсаев Д.Б. Решение задачи определения уравнения крайней линии тока и параметров вдоль нее с учетом участка ХД // Результаты исследований — 2019 : мат. IV Национальной конф. проф.-преп. состава и научных работников

(г. Новочеркасск, 14 мая 2019 г.). Новочеркасск, 2019. С. 113–117.

24. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М. : Наука, 1977. 440 с.

25. Романов А.С., Семиколонов А.В., Тараненко С.Н., Шахорин А.П. Теория подобия и размерности. Пограничный слой. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 48 с.

Поступила в редакцию 30 марта 2023 г.

Принята в доработанном виде 25 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 7 июля 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Ольга Александровна Бурцева** — кандидат технических наук, доцент кафедры общеинженерных дисциплин; **Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова (ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова);** 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, д. 132; РИНЦ ID: 161751, Scopus: 650-7800-801, ResearcherID: ABG-9531-2020, ORCID: 0000-0003-4288-8709; kuzinaolga@yandex.ru;

Мария Сергеевна Александрова — аспирант кафедры общеинженерных дисциплин; **Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова (ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова);** 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, д. 132; ORCID: 0000-0003-2901-7116; sergand1957@gmail.com.

Вклад авторов:

Бурцева О.А. — идея, написание статьи, перевод текста на английский язык, редактирование текста после компьютерного набора, итоговые выводы.

Александрова М.С. — составление программы расчета параметров потока, расчет по алгоритмам, проверка адекватности математической модели.

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации и заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Фильтрационная прочность грунта плотины в области
трубчатого водосброса круглой формы

Генрих Васильевич Орехов, Чан Мань Кыонг

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В мире происходит много разрушений грунтовых плотин из-за потери фильтрационной прочности грунтов тела плотины или основания. Фильтрационная устойчивость грунтов связана с явлением гидравлического разрыва (ГР), поэтому предотвращение условий, вызывающих ГР, является важной задачей при проектировании и эксплуатации грунтовых плотин. Гидравлический разрыв тесно связан также с неравномерной осадкой грунтов плотины и строительных конструкций. В грунтовых плотинах явление неравномерной осадки часто возникает в зонах между грунтом плотины и бортовыми массивами створа плотины, грунтом плотины и бетонными конструкциями, такими как водопропускные трубы и водосбросы, фундаментные элементы конструкций; водонепроницаемым ядром плотины и примыкающими к нему зонами грунта. Рассмотрена фильтрационная устойчивость грунтовых плотин в области трубчатых водосбросных сооружений.

Материалы и методы. Исследование проводилось с помощью численного моделирования с применением программного комплекса Plaxis. В качестве объекта исследования принята грунтовая плотина Бунг Бунг (Вьетнам).

Результаты. Результаты исследования показали, что нормальное напряжение вокруг водопропускной трубы было снижено до уровня намного ниже, чем давление воды в фильтрационном потоке с высокой вероятностью ГР в объеме грунта, находящегося под водосбросной трубой. В этих областях может произойти ГР. Предложены два конструктивных подхода к предотвращению ГР: изменить форму сечения водопропускной трубы, устроить глиняную рубашку вокруг водосбросной трубы. Оба подхода были проверены численным методом. Расчеты продемонстрировали, что применение обоих методов снижает условия возникновения ГР вблизи водопропускной трубы.

Выводы. Разрушение плотины из-за ГР может привести к серьезному повреждению. Внедрение методов предотвращения ГР важно для обеспечения безопасных условий работы плотины.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фильтрация, грунтовая плотина, гидравлический разрыв, водопропускная труба, нормальное напряжение, неравномерная осадка, разрушение

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Орехов Г.В., Чан Мань Кыонг. Фильтрационная прочность грунта плотины в области трубчатого водосброса круглой формы // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 8. С. 1272–1282. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1272-1282

Автор, ответственный за переписку: Чан Мань Кыонг, cuonghtcs@gmail.com.

Seepage strength of the dam soil in the area of a round-shaped
culvert spillway

Genrikh V. Orekhov, Tran Manh Cuong

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

ABSTRACT

Introduction. There are many destructions of earth dams in the world due to the loss of seepage strength of soils of the dam body or foundation. The seepage stability of soils is directly related to the phenomenon of hydraulic fracturing (HF), so prevention of conditions causing hydraulic fracturing is a very important task in the design and operation of earth dams. Hydraulic fracturing is closely related to uneven settlement of the dam soils and building structures. In earth dams, the phenomenon of uneven settlement often occurs in the areas between the dam soil and the side masses of the dam site, the dam soil and concrete structures, such as culverts and spillways, foundation structural elements, the impervious core of the dam and adjacent soil zones. The article is devoted to the study of the seepage stability of soil dams in the area of round-shaped culvert spillway.

Materials and methods. The study was carried out with the help of numerical modelling using Plaxis software package. The Bung Bung earth dam (Vietnam) was taken as an object of study.

Results. The results of the studies showed that the normal stress around the culvert was reduced to a level much lower than the water pressure in the seepage flow with a high probability of hydraulic fracturing in the volume of soil below the spillway. Thus, hydraulic fracturing can occur in these areas. The article proposes two structural approaches to prevent hydraulic fracturing: to change the cross-sectional shape of the culvert and to install a clay jacket around the spillway.

Both approaches were tested numerically. The calculations demonstrated that the application of both methods reduces the conditions for the occurrence of hydraulic fracturing near the culvert.

Conclusions. Dam failure due to hydraulic fracturing can cause serious damage. The implementation of methods to prevent hydraulic fracturing is important to ensure the safe dam conditions.

KEYWORDS: seepage, earth dam, hydraulic fracturing, culvert, normal stress, uneven settlement, failure

FOR CITATION: Orekhov G.V., Tran Manh Cuong. Seepage strength of the dam soil in the area of a round-shaped culvert spillway. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1272-1282. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1272-1282 (rus.).

Corresponding author: Tran Manh Cuong, cuonghtcs@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Плотины и водохранилища — это искусственные сооружения, построенные для эксплуатации и управления водными ресурсами [1]. Они имеют большое значение для социально-экономического развития, потому что не только предотвращают наводнения, но и обеспечивают воду для различных целей, таких как ирригация, питьевая вода, гидроэнергетика. Сегодня изменение климата серьезно угрожает безопасности плотин, сильно влияя на эксплуатацию и управление водными ресурсами, поэтому безопасность плотин и водохранилищ — актуальная задача [2–6].

В мире происходит много разрушений грунтовых плотин из-за потери фильтрационной прочности грунтов тела плотины или основания, что приводит к значительному материальному ущербу [7–11]. Считается, что гидравлический разрыв (ГР) является одной из основных причин сосредоточенной фильтрации во многих грунтовых плотинах. Причем замечено, что инциденты и аварии подобного рода возникают при первом заполнении водохранилища [8, 9, 12–14]. Гидравлический разрыв представляет собой процесс распространения и развития трещин в грунтах тела плотины под действием давления воды [15, 16]. Предыдущие исследования показали, что ГР тесно связан с возникновением неравномерной осадки в теле плотины [17]. Неравномерные осадки часто происходят на границе между различными материалами, например между водонепроницаемыми противофильтрационными ядрами и обочинами, водопропускными и водосбросными трубами и засыпкой грунта. Явления ГР могут возникать также между грунтовой засыпкой и элементами различных фундаментов [12, 18]. Под нагрузкой материалы с разными модулями упругости могут приводить к различным осадкам, что ведет к локальному понижению сжимающих напряжений в грунтах насыпных плотин.

В насыпных плотинах ГР может происходить через ядро плотины. Неравномерная осадка в ядре вызывает снижение напряжения до уровней намного ниже, чем давление воды [9, 15]. В такой ситуации фильтрационный поток способен проникнуть через существующие трещины в плотине и вызвать концентрацию напряжений в трещине. Поскольку прочность грунта на растяжение очень мала, трещины могут легко распространяться в областях грунта плотины, что может приводить к появлению сосредоточенной фильтрации, суффозионным процессам и, как

следствие, разрушению части плотины. Несколько инцидентов, связанных с ГР, произошло на плотинах Балдерхед (Англия), Стоктон (США), Вистер (США), Виддалсватн (Норвегия) и Тетон (США) во время первого заполнения водохранилища [13].

Описанный выше процесс потери грунтом плотины фильтрационной прочности наиболее часто происходит вокруг водосбросных или водопропускных систем трубчатого типа, где наблюдается неравномерная осадка и образование зон (в основном под трубой) с пониженными значениями сжимающих напряжений. Из-за неравномерной осадки нормальное напряжение в указанных зонах трубчатой конструкции может быть снижено до значений, которые намного ниже, чем давление воды. Согласно проведенным натурным наблюдениям исследователи пришли к выводу, что ГР служит наиболее вероятной причиной возникновения сосредоточенной фильтрации вдоль водопропускных трубчатых конструкций [17]. Во многих плотинах III и IV классов (высота плотины до 35 м) была обнаружена сосредоточенная фильтрация вдоль трубчатых водопропускных сооружений [19].

Цель исследования — установить механизм сосредоточенной фильтрации вдоль водопропускной трубы с точки зрения ГР.

В работах различных авторов часто выполнялся численный анализ с использованием метода конечных элементов (МКЭ) для прогнозирования ГР насыпных плотин или фундаментов [20]. Расчетные результаты этих анализов затем сравнивались с результатами полевых или лабораторных испытаний. Нг и Смолл применяли МКЭ, чтобы объяснить причину инцидента на плотине Хиттеювет из-за гидравлического разрыва [11]. Нгамби и соавторы исследовали потенциальный риск ГР рядом с трубопроводами с помощью анализа конечных элементов (КЭ) в сочетании с наблюдениями на месте [17]. Кроме того, результаты моделей МКЭ использовались для сравнения с результатами лабораторных экспериментов при изучении реакции заглубленных труб на транспортные нагрузки [19]. Сравнение показало хорошее совпадение.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Во Вьетнаме насчитывается около 7000 водохранилищ, образованных грунтовыми плотинами,

выполненными из песка или глинистых материалов. В основном это грунтовые низконапорные плотины IV класса гидротехнических сооружений (высотой до 15 м) и III класса (высотой от 15 до 25 или 35 м в зависимости от материала грунта). Водохранилища, образованные этими подпорными сооружениями, были построены давно и в настоящее время сильно деградировали, поэтому важно оценить безопасность водохранилищ.

Для проведения расчетов выбран гидроузел Бунг Бунг, имеющий небольшое водохранилище, расположенное в провинции Нгеан, центральный Вьетнам. Основные данные по гидроузлу приведены в табл. 1.

Табл. 1. Основные данные по гидроузлу Бунг Бунг

Table 1. Basic data of the Bung Bung hydrosystem

Площадь бассейна Reservoir area	0,85 км² / km²
Нормальный подпорный уровень Normal water level	35,00 м / m
Форсированный подпорный уровень Maximum water level	36,20 м / m
Уровень мертвого объема Dead water level	28,40 м / m
Отметка гребня плотины Dam crest mark	36,5 м / m
Максимальная высота плотины Maximum dam height	13,3 м / m
Плотина Dam	Грунтовая, однородная из суглинистого материала Soil, homogeneous from clay soil material
Длина плотины по гребню Dam lenght along the crest	123,6 м / m
Заложение верхового откоса Laying top slope	$m = 3,00$
Заложение низового откоса Laying down slope	$m = 2,75$
Эксплуатационный водосброс Spillway	Поверхностный, ширина водосливной грани 10 м Surface, spillway width 10 m
Система водоспуска Culvert	Железобетонная труба с внешним диаметром 1,2 м. Затвор со стороны нижнего бьефа Reinforced concrete pipe with an outer diameter of 1.2 m. Downstream side gate

В состав гидроузла Бунг Бунг входит однородная грунтовая плотина максимальной высотой около 21 м и длиной по гребню 123,6 м, поверхностный эксплуатационный водосброс и водоспускная труба, предназначенная для спуска воды из водохранилища в период ремонтных или реконструкционных работ. Водоспускная система проходит через все поперечное сечение плотины. На рис. 1, 2 показаны поперечное сечение *A-A* плотины и ее продольный разрез.

Водоспускная система приведена на рис. 3 в виде поперечного сечения по *B-B* на рис. 1. Она представляет собой железобетонную круглоцилиндрическую трубу, которая проходит поперек плотины на ее низких придонных отметках. Наружный диаметр трубы 1,2 м, внутренний 0,8 м. Труба уложена на бетонный фундамент толщиной 0,5 м.

Водоспускная система устроена у правого берега плотины, она выполнена из стальных труб диаметром 800 мм, толщиной 20 мм, покрытых железобетоном марки 300; ее длина равна 55,5 м. В конце трубы со стороны нижнего бьефа устроен затвор. Со стороны верхнего бьефа находится водоприемник.

Конструкция водосбросной трубы представлена на рис. 4, поперечное сечение *C-C* — на рис. 3.

Метод исследования

В данной работе использован программный комплекс Plaxis — программное обеспечение (ПО), основанное на принципе КЭ. Расчеты с помощью Plaxis выполнялись для оценки риска ГР вокруг водоспускной трубы.

Авторы статьи провели анализ напряжения в плоскости с применением МКЭ для моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) в плотине. Был использован простой критерий для прогнозирования потенциального риска ГР в любом месте тела плотины с помощью выходных результатов анализа путем сравнения нормального напряжения с давлением воды в этой точке. Такой анализ нарастания сжимающего напряжения позволяет лучше моделировать воздействия во время строительства, а результаты анализа могут показать распределение напряжения и смещения в плотине, особенно в местах, прилегающих к водоотводу. Кроме того, численный анализ также применялся для проверки эффективности контрмер, предложенных для снижения риска возникновения ГР в плотине.

Исследование изменения нарастания с помощью МКЭ выполнено для анализа деформации и напряжения в продольном сечении плотины, которое также включает поперечное сечение водопропускной трубы. В этом анализе тело плотины смоделировано с использованием 10 последовательных слоев насыпного грунта, каждый слой 130 см толщиной. На самом деле насыпная плотина состоит из большого количества слоев насыпного материала. Слои тщательно утрамбовываются до достижения определенной плотности. Тем не менее моделирование тела плотины со слишком большим количеством слоев

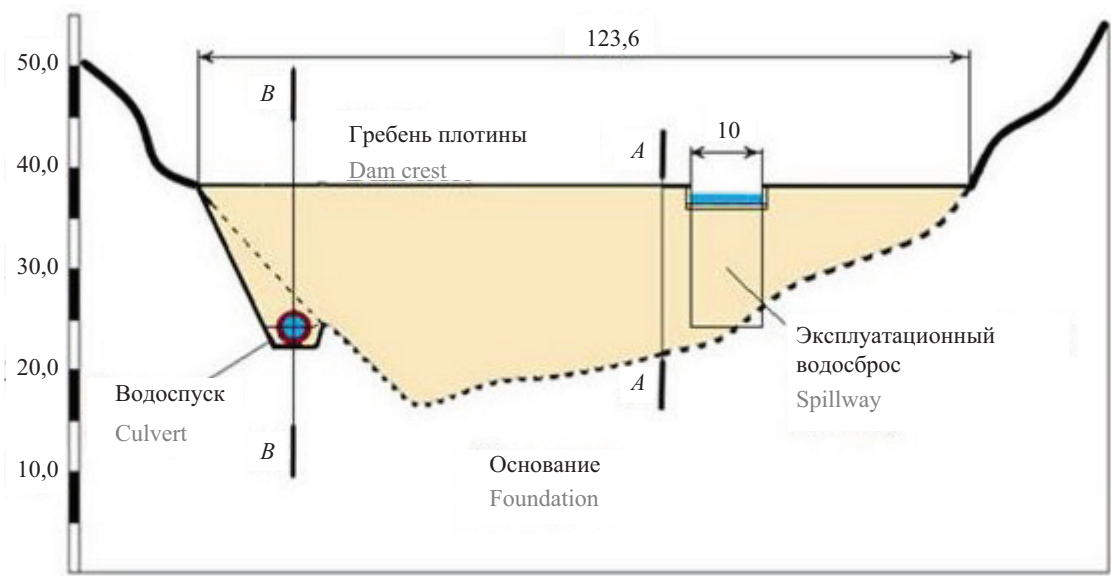


Рис. 1. Продольный разрез плотины. Размеры указаны в метрах

Fig. 1. Longitudinal section of the dam. Dimensions are given in meters

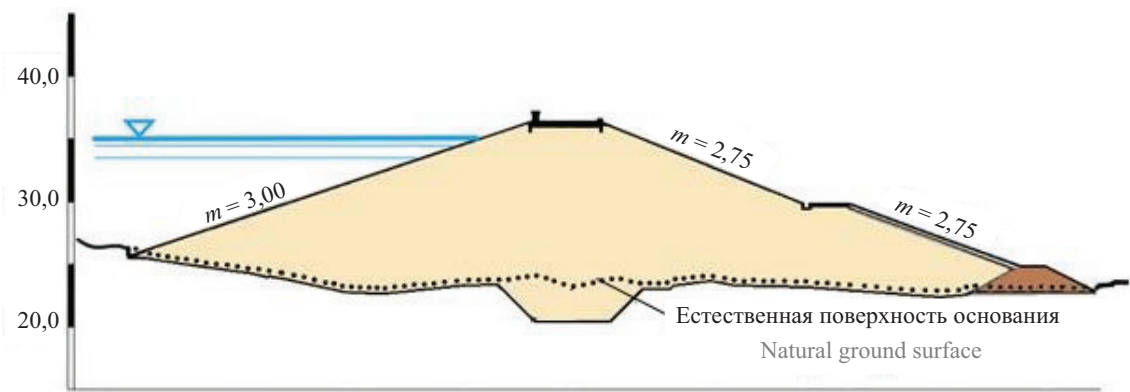


Рис. 2. Поперечный разрез однородной грунтовой плотины по сечению A-A на рис. 1. Высотные размеры даны в метрах

Fig. 2. Cross-sectional view of a homogeneous earth dam along the section A-A in Fig. 1. Height dimensions are given in meters

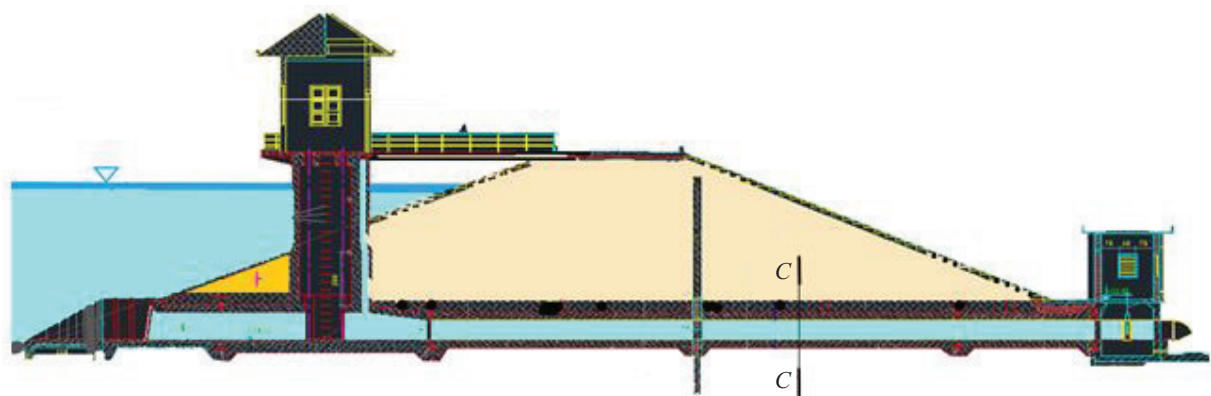


Рис. 3. Поперечный разрез плотины по водоспускному сооружению (сечение B-B на рис. 1)

Fig. 3. Cross section of the dam along the culvert (section B-B in Fig. 1)

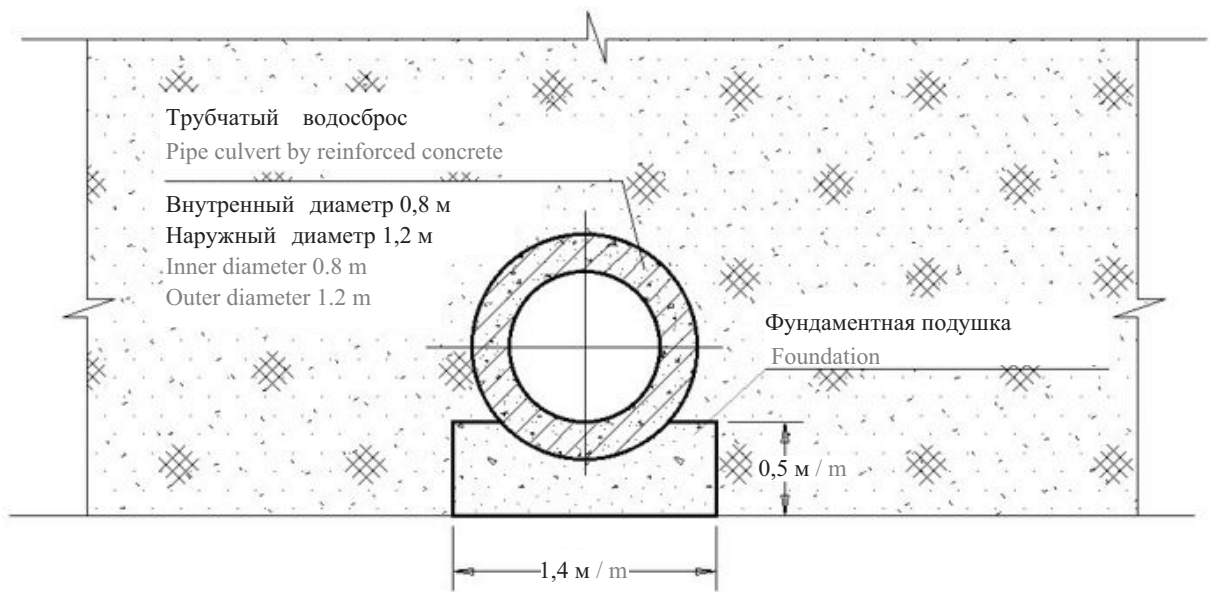


Рис. 4. Поперечное сечение водоспускной трубы по сечению C-C на рис. 3

Fig. 4. The cross section of the culvert pipe along the section C-C in Fig. 3

насыпного грунта может привести к тому, что модель будет громоздкой, а анализ может занять много времени из-за значительного количества элементов. Поэтому в этой статье количество слоев почвы было выбрано 10. Для моделирования НДС тела плотины, особенно прилегающего к водопропускной трубе, использовалась теория линейной упругости, которая может быть записана в общем виде, как:

$$\sigma = E\varepsilon,$$

где σ — сила, вызывающая деформацию; E — коэффициент пропорциональности, называемый модуль упругости; ε — величина деформации.

На рис. 5 изображена деформация сетки исследуемой области. Таким образом, для этой модели были необходимы только упругие свойства материалов конструкции, такие как общая плотность, модуль упругости и коэффициент Пуассона. Эти данные приведены в табл. 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате проведенных расчетов получены зависимости, характеризующие НДС грунта плотины в области примыкания к трубе водоспуска. На рис. 6 приведено напряжение вокруг водопропускной трубы с использованием ПО Plaxis. График

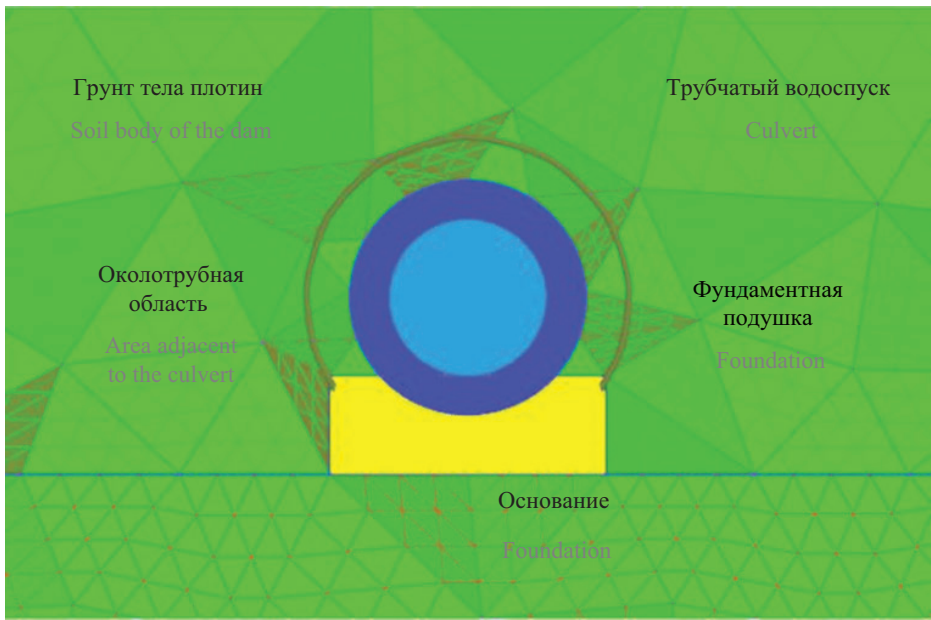


Рис. 5. Конечно-элементная дискретизация расчетной области

Fig. 5. Finite element discretization of the computational domain

Табл. 2. Физико-механические свойства материала
Table 2. Physical and mechanical properties of the material

Грунт плотины Dam soil	
Общая плотность грунта Total soil density	2000 кг/м³ kg/m³
Плотность сухого грунта Density of dry soil	1600 кг/м³ kg/m³
Угол внутреннего трения грунта Angle of internal friction of soil	31°
Коэффициент фильтрации Filtration coefficient	5,4 м/сут m/day
Модуль деформации Deformation modulus	20 · 10³ кН/м² kN/m²
Коэффициент Пуассона Poisson's ratio	0,3
Железобетон трубы водоспуска Reinforced concrete culvert	
Общая плотность Total density	2450 кг/м³ kg/m³
Модуль деформации Deformation modulus	24 · 10⁶ кН/м² kN/m²
Коэффициент Пуассона Poisson's ratio	0,2
Фундаментная подушка под трубу Foundation under pipe	
Общая плотность Total density	2400 кг/м³ kg/m³
Модуль деформации Deformation modulus	21 · 10⁶ кН/м² kN/m²
Коэффициент Пуассона Poisson's ratio	0,2
Основание Foundation	
Модуль деформации Deformation modulus	10⁶ кН/м² kN/m²
Коэффициент Пуассона Poisson's ratio	0,25

на рис. 7 показывает взаимосвязь между нормальным напряжением и нормальным напряжением за вычетом давления воды вокруг трубы в зависимости от угла θ . Нулевое значение угла θ соответствует нижней точке D на схеме (рис. 8). Отсчет угла θ принят по часовой стрелке. График показывает напряжение с обеих сторон водоспускной трубы намного ниже, чем сжимающие напряжения на верхней части трубы. Такое распределение напряжений около трубной области возникает из-за неравномерной плотности слоев грунта. Очевидно, что грунт над трубой сжат более сильно, чем грунт под трубой, поскольку он сжат верхними слоями тела плотины. Поэтому грунт под трубой уплотнен не так сильно, как над трубой.

Зависимость (рис. 7) также демонстрирует, что, когда угол θ меньше 70° и больше 290°, давление

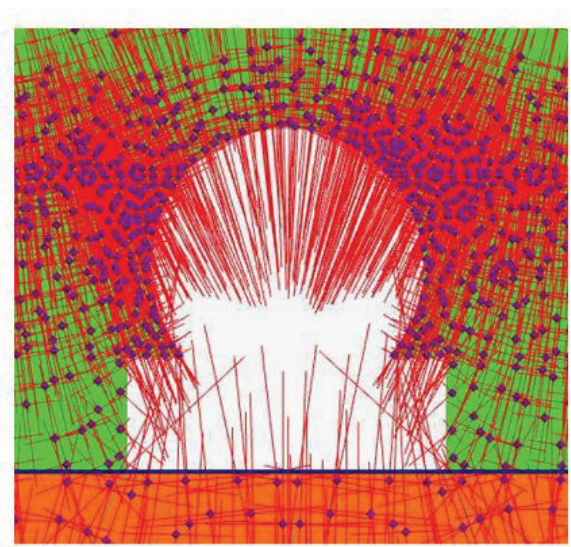


Рис. 6. Диаграмма расчетных точек нормальных напряжений вокруг водоспускной трубы

Fig. 6. Diagram of design points of normal stresses around the culvert

воды превышает нормальное сжимающее напряжение. Минимальное значение ($\sigma_\theta - W$) составляет –49,08 кПа, когда угол θ равен 48°.

Приняты следующие обозначения: σ_θ — нормальное напряжение в точке возле водопропускной трубы с углом θ ; W — давление воды в фильтрационном потоке в точках, расположенных вокруг трубы.

В этих областях может произойти ГР, поэтому необходим поиск технических решений для предотвращения ГР грунта около трубной области и предотвращения трещинообразования, которое является основным фактором возникновения сосредоточенной фильтрации вдоль трубы и потери фильтрационной прочности.

Предложения по контрмерам

Изменить форму сечения водопропускной трубы

Исследователи считают, что форма водопропускной трубы является важным фактором, связанным с неравномерной осадкой рядом с ней, снижением напряжения с обеих сторон трубы и повышенной вероятностью ГР вблизи водопропускной трубы [17, 21]. Поэтому предлагается новая форма водоспускной трубы. В этом случае форма трубы трансформируется, в то время как другие условия, такие как условия нагрузки и граничные условия, сохраняются. Новая форма водопропускной трубы показана на рис. 9.

На рис. 10 представлены точки напряжения вокруг водопропускной трубы при изменении формы поперечного сечения с помощью ПО Plaxis 2D. На рис. 11 приведено распределение нормального напряжения за вычетом давления воды вокруг водопропускной трубы новой формы в тестовом примере. На этом графике в качестве горизонтальной оси координат выбрана ось X , которая отличается от го-

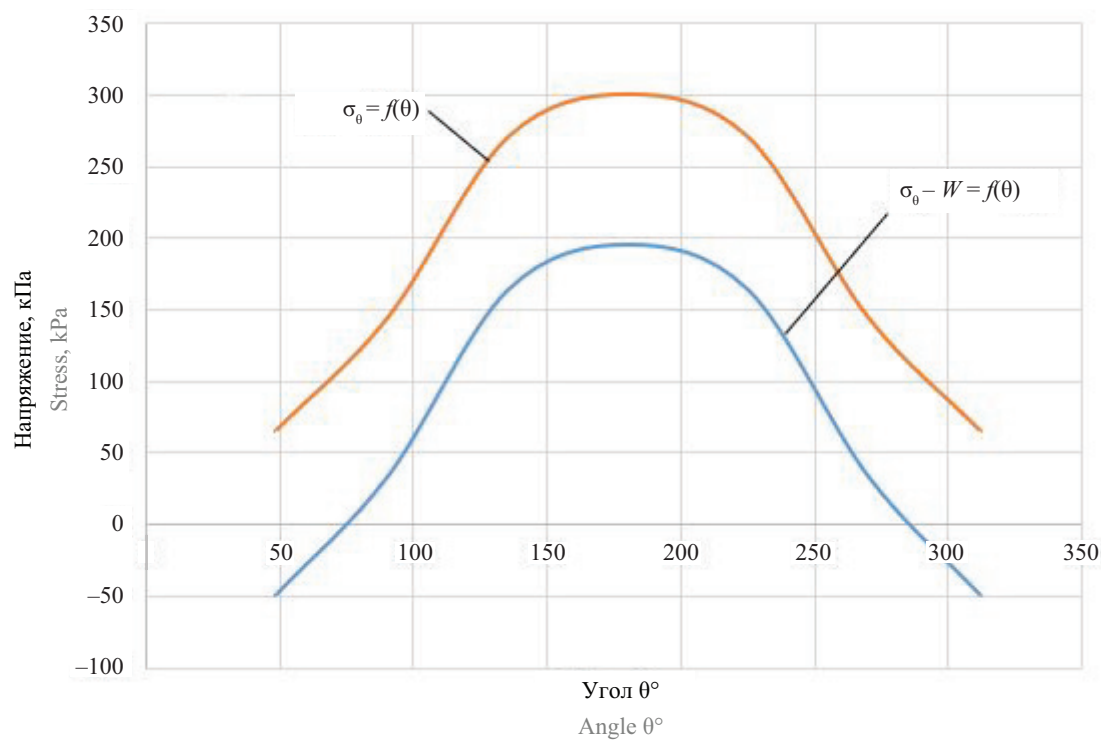


Рис. 7. Зависимости напряжений в грунте около трубной области: красная кривая на графике — $\sigma_{\theta} = f(\theta)$; синяя кривая — $\sigma_{\theta} - W = f(\theta)$

Fig. 7. Dependences of stresses in the soil near the culvert: red curve on the graph — $\sigma_{\theta} = f(\theta)$; blue curve — $\sigma_{\theta} - W = f(\theta)$

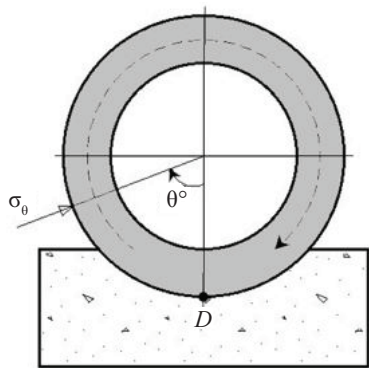


Рис. 8. Порядок отсчета угла θ на схеме водопускной трубы

Fig. 8. The order of counting the angle θ on the culvert

горизонтальной оси координат на рис. 7. Из-за изменения формы водопропускной трубы ось X может быть более подходящей для демонстрации взаимосвязи нормального напряжения и давления воды вокруг водопропускной трубы. Как видно на рис. 11, напряженное состояние вокруг водопропускной трубы претерпело значительные изменения. С обеих сторон водопропускной трубы нормальное напряжение действительно выше, чем давление воды; отсюда можно сделать вывод об отсутствии условий для возникновения ГР грунта на боковых гранях конструкции.

Сравнивая распределение нормального напряжения за вычетом давления воды на рис. 7 и 11, результаты подтверждают, что на НДС вокруг водо-

пропускной трубы значительное влияние оказывает ее форма. Поэтому при проектировании и строительстве водопропускной трубы под плотиной необходимо учитывать выбор соответствующей формы сечения водопропускной трубы, чтобы снизить риск ГР вокруг водопропускной трубы.

Устройство глиняной рубашки вокруг водосборной трубы

Ранее считалось, что устройство глиняной рубашки вокруг водопропускной трубы предназначено только для предотвращения внутренней эрозии, но ученые продемонстрировали, что этот метод также снижает риск гидравлического разрыва [17, 21]. Авторы используют слой глины, чтобы покрыть водопропускную трубу, как показано на рис. 12. На рис. 13 представлены точки напряжения вокруг трубы с помощью ПО Plaxis 2D. Распределение нормального давления за вычетом давления воды ($\sigma_{\theta} - W$) вокруг водопропускной трубы показано на рис. 14. Ясно, что нормальное напряжение больше, чем давление воды. Таким образом, можно сделать вывод, что глиняная насыпь вокруг водопропускной трубы снизила риск ГР вблизи нее, особенно с двух сторон водопропускной трубы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- ГР может легко произойти, когда нормальное напряжение вокруг водопропускной трубы (особенно

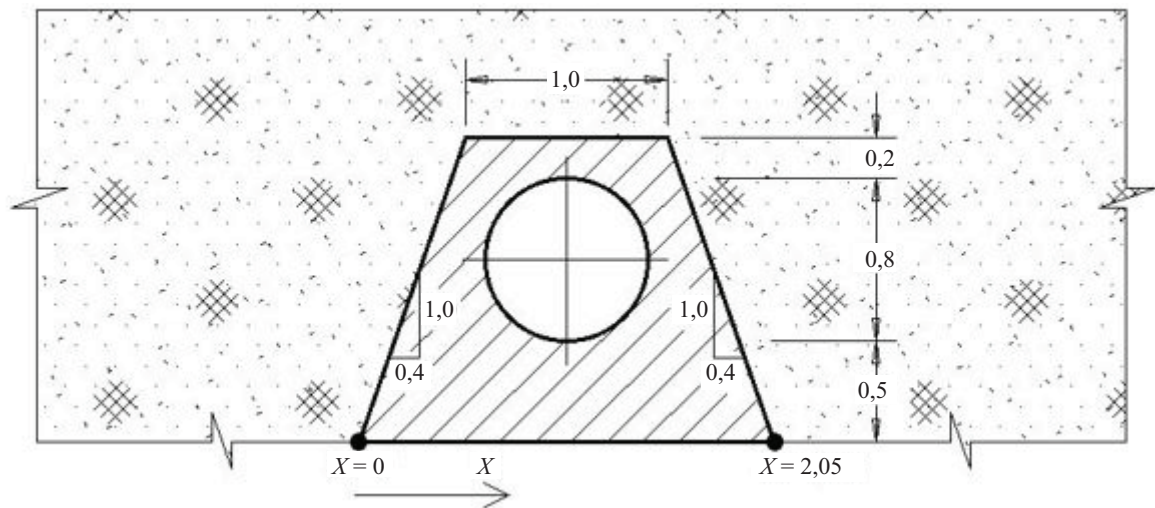


Рис. 9. Изменение формы водопускной трубы. Размеры указаны в метрах
Fig. 9. Changing the shape of the culvert. Dimensions are given in meters

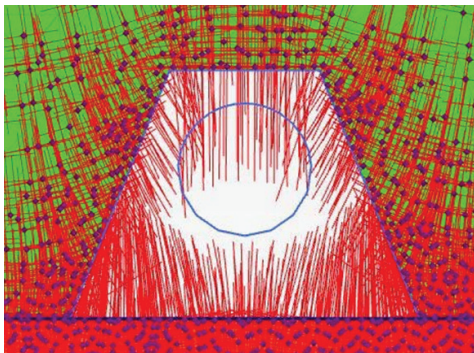


Рис. 10. Точки напряжения вокруг водопропускной трубы при изменении формы поперечного сечения в виде трапеции
Fig. 10. Stress points around the culvert when changing the shape of the cross-section in the shape of a trapezoid

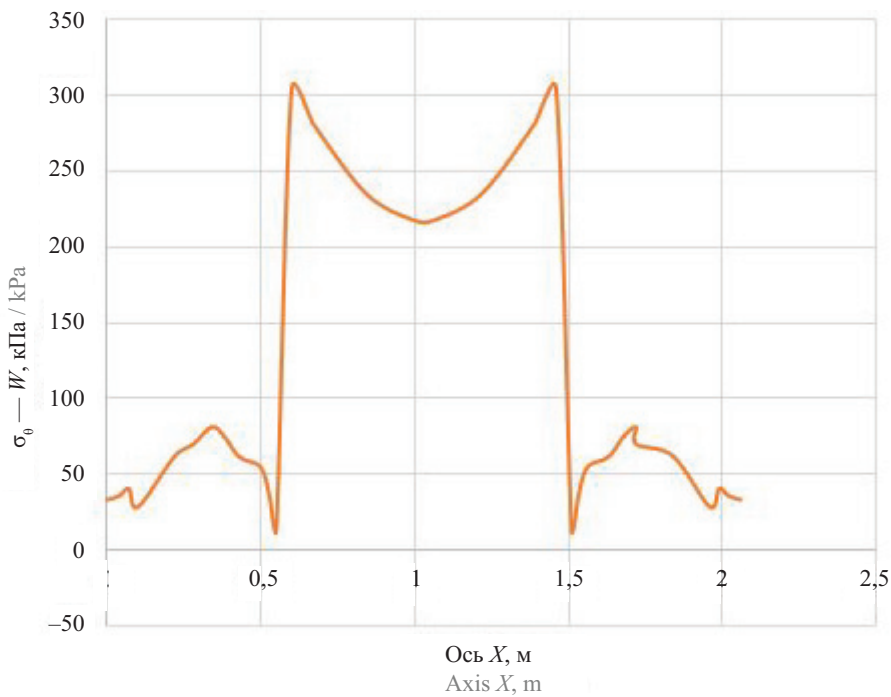


Рис. 11. Распределение нормального напряжения σ_0 за вычетом давления воды W вдоль координатной оси X
Fig. 11. Distribution of normal stress σ_0 minus water pressure W along the coordinate axis X

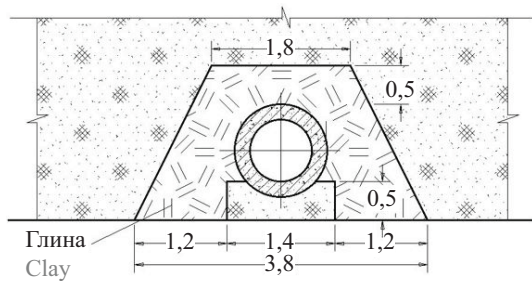


Рис. 12. Устройство глиняной рубашки вокруг водосбросной трубы в виде трапеции. Размеры даны в метрах
Fig. 12. Installation of a clay jacket around the culvert spillway in a trapezoid. Dimensions are in meters

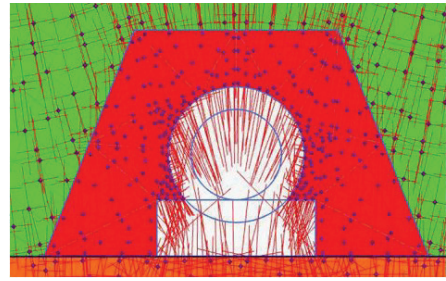


Рис. 13. Точки напряжения вокруг трубы при устройстве глиняной рубашки вокруг водосбросной трубы 2D
Fig. 13. Stress points around the pipe during the construction of a jacket around the 2D culvert spillway

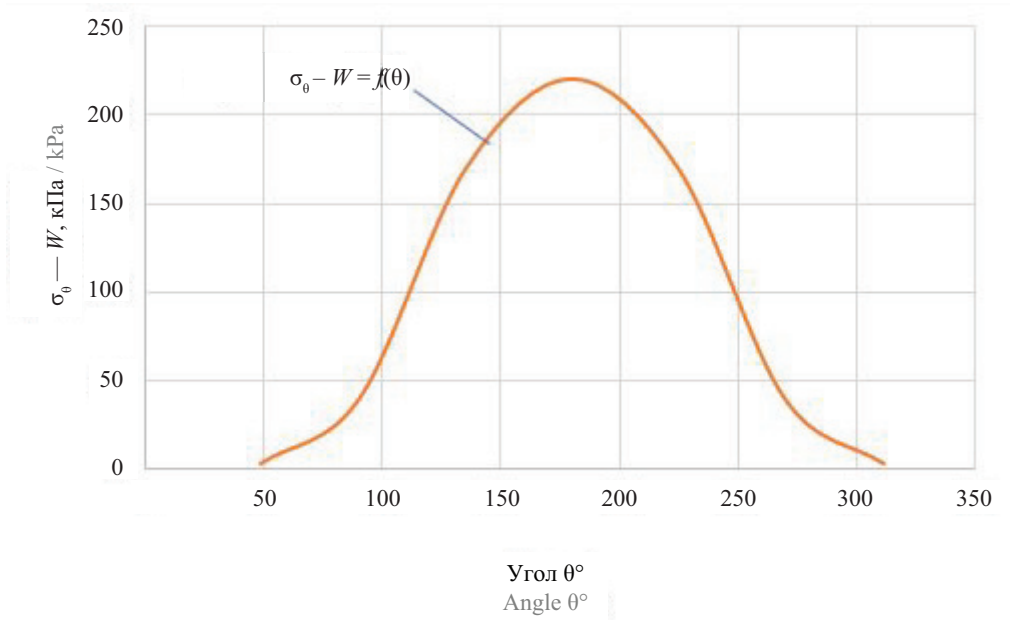


Рис. 14. График напряжений вокруг водопропускной трубы по углу θ в случае устройств глиняной рубашки вокруг водосбросной трубы
Fig. 14. Graph of stresses around the culvert by angle θ in the case of clay jacket around the the culvert

на двух ее сторонах) меньше, чем давление воды, что возможно из-за распора. В исследовании, описанном в этой статье, область вокруг водопропускной трубы, где угол θ (показан на рис. 7) меньше 70° и больше 290° , подвержена риску гидравлического разрыва;

- изменение формы сечения водопропускной трубы и способ устройства глиняной рубашки вокруг водосбросной трубы значительно снизили риск ГР вдоль водопропускной трубы (особенно с двух ее сторон);

- разрушение плотины из-за ГР может привести к серьезному повреждению плотины, а также инфраструктуры, сложившейся в нижнем течении реки. Внедрение методов предотвращения ГР важно для обеспечения безопасных условий работы плотины. Поэтому инженерам-проектировщикам необходимо тщательно изучить методы, чтобы выбрать разумный способ обеспечения безопасности плотины и в то же время подходящий для инвестиционных затрат на строительство.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Schultz B. Role of dams in irrigation, drainage and flood control. *International Journal of Water Resources Development*. 2002; 18(1):147-162. DOI: 10.1080/07900620220121710
2. Lehner B., Döll P., Alcamo J., Henrichs T., Kaspar F. Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Eu-rope: a continental, integrated analysis. *Climatic Change*. 2006; 75(3):273-299. DOI: 10.1007/s10584-006-6338-4
3. Van Aalst M.K. The impacts of climate change on the risk of natural disasters. *Disasters*. 2006; 30(1): 5-18. DOI: 10.1111/j.1467-9523.2006.00303.x
4. Zhang Y., Chen D., Chen L., Ashbolt S. Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. *Journal of Environmental Management*. 2009; 91(1):222-226. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.08.008
5. Piao S., Ciais P., Huang Y., Shen Z., Peng S., Li J. et al. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*. 2010; 467(7311):43-51. DOI: 10.1038/nature09364
6. Urama K.C., Ozor N. Impacts of climate change on water resources in Africa: the role of adaptation. *African Technology Policy Studies Network*. 2010; 29:1-29.
7. Foster M., Fell R., Spannagle M. The statistics of embankment dam failures and accidents. *Canadian Geotechnical Journal*. 2000; 37(5):1000-1024. DOI: 10.1139/t00-030
8. Sharma R.P., Kumar A. Case Histories of Earthen Dam Failures. *International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*. 2013.
9. Vogel A., Courivaud J.-R., Jarecka K. Recent case histories of cascade failures and overflowing events of embankment dams. *4th International Seminar on Dam Protection against Overtopping (Spain)*. 2022. DOI: 10.26077/efbf-4702
10. Ngambi S., Shimizu H., Nishimura S., Nakano R. A fracture mechanics approach to the mechanism of hydraulic fracturing in fill dams. *Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering (Japan)*. 1998; 195:47-58.
11. Ng K.L., Small J.C. A case study of hydraulic fracturing using finite element methods. *Canadian Geotechnical Journal*. 1999; 36(5):861-875. DOI: 10.1139/t99-049
12. Haeri S., Faghihi D. Predicting Hydraulic Fracturing in Hyttejuvet Dam. *International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*. 2008; 2.88:40-52.
13. Khanna R., Chitra R. Hydraulic fracturing in core of earth and rockfill dams. *International Journal of Engineering Innovation & Research*. 2016; 5(1):13-6-142.
14. Salari M., Akhtarpour A., Ekramifard A. Hydraulic fracturing: a main cause of initiating internal erosion in a high earth-rock fill dam. *International Journal of Geotechnical Engineering*. 2021; 15(2):207-219. DOI: 10.1080/19386362.2018.1500122
15. Jaworski G.W., Duncan J.M., Seed H.B. Laboratory study of hydraulic fracturing. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. 1981; 107(6):713-732. DOI: 10.1061/AJGEB6.0001147
16. Mhach H.K. *An experimental study of hydraulic fracture and erosion: thesis*. City University, London, 1991.
17. Ngambi S., Nakano R., Shimizu H., Nishimura S. Cause of leakage along the outlet conduit underneath a low fill dam with special reference to hydraulic fracturing. *Rural and Environment Engineering*. 1998; 1998(35):35-46. DOI: 10.11408/jierp1996.1998.35_35
18. Wang J.J., Zhang H.P., Zhao M.J., Lin X. Mechanisms of hydraulic fracturing in cohesive soil. *Water Science and Engineering*. 2009; 2(4). DOI: 10.3882/j.issn.1674-2370.2009.04.009
19. Penman A.D.M., Charles J.A., Nash J.K.T.L., Humphreys J.D. Performance of Culvert under Winscar Dam. *Geotechnique*. 1975; 25(4):713-730. DOI: 10.1680/geot.1975.25.4.713
20. Mosadegh A. Buried pipe response subjected to traffic load experimental and numerical investigations. *International Journal of GEOMATE*. 2017; 13(39). DOI: 10.21660/2017.39.91957
21. Tran D.Q. Effects of culvert shapes on potential risk of hydraulic fracturing adjacent to culverts in embankment dams. *International Journal of GEOMATE*. 2018; 16(52). DOI: 10.21660/2018.52.20934

Поступила в редакцию 20 апреля 2023 г.

Принята в доработанном виде 1 июня 2023 г.

Одобрена для публикации 7 июля 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Генрих Васильевич Орехов** — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры гидравлики и гидротехнического строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0002-6900-2704; OrehovGV@mgsu.ru;

Чан Мань Кыонг — аспирант кафедры гидравлики и гидротехнического строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; cuonghtcs@gmail.com.

Вклад авторов:

Орехов Г.В. — идея статьи, научное руководство, формулирование концепции исследования.

Чан Мань Кыонг — анализ источников литературы, построение экспериментальной модели, анализ полученных результатов, формулирование выводов по статье.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Received April 20, 2023.

Adopted in revised form on June 1, 2023.

Approved for publication on July 7, 2023.

B I O N O T E S: **Genrikh V. Orekhov** — Doctor of Technical Science, Associate Professor, Professor of the Department of Hydraulics and Hydraulic Engineering; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-6900-2704; OrekhovGV@mgsu.ru;

Tran Manh Cuong — postgraduate student of the Department of Hydraulics and Hydraulic Engineering; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; cuonghtcs@gmail.com.

Contribution of the authors:

Genrikh V. Orekhov — the idea of the article, scientific guidance, formulation of the research concept.

Tran Manh Cuong — analysis of sources and literature, construction of an experimental model, analysis of the results obtained, formulation of conclusions on the article.

The authors declare no conflict of interest.

Метод прогнозирования эффективности реализации инвестиционно-строительных проектов в особой экономической зоне на различных этапах жизненного цикла

Далер Зарифович Искандаров, Светлана Михайловна Бороздина

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Возможности использования особых экономических зон (ОЭЗ) в аспекте повышения объемов осуществляемых строительных работ и количества возведенных объектов недвижимости различного типа обусловлены ростом учреждения ОЭЗ, на которые возлагают значительные ожидания по решению ряда задач и вызовов, существующих в строительной отрасли. Проблемы диспропорции факторов производства на территории страны закладывают негативные последствия неверно принятых решений по формированию устойчивого социально-экономического развития регионов, что приводит к дифференциации в размещении объектов инфраструктуры и возникновению дисбаланса в трудовых высококвалифицированных кадрах. Авторы исследования полагают, что необходимым условием решения данных проблем является создание предпосылок и условий по реализации инвестиционно-строительных проектов (ИСП), имеющих коренное значение для отрасли, сконцентрировав субъекты экономической деятельности на едином территориальном пространстве, применив для этого ОЭЗ.

Материалы и методы. Изложенный метод оценки строится на применении коэффициентов линейной и обратной пропорциональности, выражающих зависимость переменных величин при реализации ИСП в ОЭЗ на различных этапах его жизненного цикла. Ключевым методом, применяемым в рамках научного исследования, является построение графиков линейных и параболических функций, иллюстрирующих изменения величины затрат и степени влияния этапов проекта.

Результаты. Обнаружены и описаны посредством коэффициентов линейной и обратной пропорциональности перспективы по созданию инструмента регулирования прибыльности и рентабельности проекта. Выявление точки пересечения затрат и влияния проекта открывает широкие перспективы по внедрению разработанной методики в деловую деятельность предприятий инвестиционно-строительной сферы, придавая практическую ценность проведенной научной работы.

Выводы. Разработанный метод оценки эффективности проекта предполагает раздельное применение инструментов расчета на каждом из его этапов, что связано с особенностью использования вышеупомянутых коэффициентов. Визуально-наглядное представление и простота применения метода в значительной степени упрощает его применение, что в особенности необходимо при проведении оперативной экспресс-оценки прибыльности проекта в обозримой перспективе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: предприятие инвестиционно-строительной сферы (ИСС), инвестиционно-строительный проект (ИСП), особая экономическая зона (ОЭЗ), коэффициенты линейной и обратной пропорциональности, константы затрат и времени, уравнение прямой, угловой коэффициент, прогноз, эффективность

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Искандаров Д.З., Бороздина С.М. Метод прогнозирования эффективности реализации инвестиционно-строительных проектов в особой экономической зоне на различных этапах жизненного цикла // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 8. С. 1283–1297. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1283-1297

Автор, ответственный за переписку: Далер Зарифович Искандаров, iskandarovdaler@gmail.com.

Method of forecasting the efficiency of investment and construction projects realization in a special economic zone at different stages of life cycle

Daler Z. Iskandarov, Svetlana M. Borozdina

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

ABSTRACT

Introduction. The possibilities of using special economic zones (SEZ) in the aspect of increasing the volume of construction work performed and the number of erected real estate objects of various types are conditioned by the growth of SEZ

establishment, which have significant expectations for solving several tasks and challenges existing in the construction industry. The problems of disproportion of production factors on the territory of the country lay down the negative consequences of incorrectly made decisions on the formation of sustainable socio-economic development of regions, which leads to differentiation in the location of infrastructure facilities and the emergence of imbalance in the labour of highly qualified personnel. The authors of the study believe that the necessary condition for solving these problems is the creation of prerequisites and conditions for the implementation of investment and construction projects (ICP) that have fundamental importance for the industry, concentrating economic entities in a single territorial space, applying SEZ for this purpose.

Materials and methods. The described method of evaluation is based on application of linear and inverse proportionality coefficients, expressing the dependence of variables in the implementation of ICP in SEZ at different stages of its life cycle. The key method that used in framework of the scientific research is the construction of graphs of linear and parabolic functions illustrating changes in the amount of costs and the degree of influence of the project stages.

Results. Perspectives on the creation of a tool to regulate the profitability of the project are discovered and described through linear and inverse proportionality coefficients. Identification of the intersection point of costs and influence of the project opens wide prospects for the implementation of the developed methodology in the development activities of the ICS enterprises, giving practical value to the conducted scientific work.

Conclusions. The developed method of project efficiency assessment assumes separate application of calculation tools at each of its stages, which is connected with the peculiarity of using the above-mentioned coefficients. The visual presentation and ease application of the method greatly simplifies its application, which is especially necessary when carrying out an operational express assessment of the profitability of the project in the foreseeable future.

KEYWORDS: investment and construction enterprise (ICE), investment and construction project (ICP), special economic zone (SEZ), linear and inverse proportionality coefficients, cost and time constants, straight line equation, angular coefficient, forecast, efficiency

FOR CITATION: Iskandarov D.Z., Borozdina S.M. Method of forecasting the efficiency of investment and construction projects realization in a special economic zone at different stages of life cycle. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1283-1297. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1283-1297 (rus.).

Corresponding author: Daler Z. Iskandarov, iskandarovdaler@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Растущая значимость использования особой экономической зоны (ОЭЗ) в аспекте совершенствования строительной деятельности из года в год подтверждается количеством учреждаемых ОЭЗ. С момента снятия моратория на их образование в 2020–2022 гг. были приняты положительные решения о создании 12 новых ОЭЗ, превысив 130 % от установленных плановых значений [1]. Сохраняющаяся стабильная тенденция роста выручки резидентов и их увеличивающееся количество свидетельствуют о заинтересованности данным инструментом территориального развития со стороны субъектов частного предпринимательства, отмечающих преимущества ведения хозяйственно-экономической деятельности в ОЭЗ. Наличие инженерно-технической, транспортной инфраструктуры, арендопригодной и готовой под застройку земли, оснащенной необходимыми коммуникациями и прошедшей этап проектной подготовки, актуализирует применимость ОЭЗ для совершенствования различных аспектов по развитию строительной отрасли¹.

Цель исследования — разработка комплексного метода по оценке эффективности реализации инвестиционно-строительного проекта (ИСП) в ОЭЗ на различных этапах его жизненного цикла (ЖЦ), где особое значение уделяется определению значимости преференциального режима хозяйствования, сложившегося в рамках изучаемого инструмента содействия экономической активности. преимуще-

ства ОЭЗ, которые улучшают проектную деятельность, можно распределить следующим образом:

- земля и территория, прошедшая предпроектную подготовку — межевание и геодезические работы, направленные на установление площади, границ и характера рассматриваемого земельного участка [2]. Подобный подход обусловлен спецификой самих ОЭЗ, которые еще на этапе учреждения проходят процесс оценки целесообразности [3], а местные органы власти региона формируют инвестиционную заявку, включающую распланированный порядок финансирования ОЭЗ, количество потенциальных резидентов и тип создаваемой ОЭЗ [4];

- наличие инженерно-технической и транспортной инфраструктуры, подведенной к территории ОЭЗ [2, 5]. Следует отметить, что существуют и исключения, когда на выбор для резидента, намеревающегося возводить объект недвижимости, предлагаются как браунфилд, так и гринфилд подходы территориального проектирования в ОЭЗ с уже доступной и/или отсутствующей инженерно-технической инфраструктурой соответственно [6]. В таблице представлены характерные особенности браунфилд, гринфилд, редфилд подходов в ОЭЗ.

Кроме того, специфика ОЭЗ заключается в возможности создания альтернативных подходов, строящихся на основе положительных черт браунфилд и гринфилд проектирования территорий — речь про редфилд подход, который представляет собой возможность делегирования функций планирования и проектирования для специально учрежденной

¹ Проект стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года // Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации : официальный сайт. 2021. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18723/>

Особенности различных подходов территориального проектирования в ОЭЗ при реализации ИСП
Peculiarities of different approaches to territorial design in SEZ during the implementation of ICP

Характерные особенности Characteristic features	Гринфилд Greenfield	Браунфилд Brownfield	Редфилд Redfield
Степень первоначального проектирования Degree of initial construction design	С «нуля» или частичное From scratch or partial	Осуществлено заранее Implemented in advance	Смешанное Mixed
Ограничения в возможности применения технологий Limitations in the possibility of using technologies	Отсутствуют Absent	Существуют Absent	Присутствует возможность корректирования Exist and can be corrected
Необходимость в самостоятельном проведении коммуникаций Need for independent communication	Присутствует Exist	Отсутствует Absent	Присутствует Exist
Длительность реализации проекта Duration of project implementation	Сравнительно выше Comparatively higher	Сравнительно меньше Comparatively lower	Зависит от типа проекта Depends on type of project
Степень риска успешности проекта, выражающая достижимость целей проекта The degree of risk of project success, expressing the achievability of its goals	Сравнительно высокая Comparatively high	Сравнительно низкая Comparatively low	Сравнительно низкая Comparatively low
Уровень затрат на реализацию проекта на всех этапах его ЖЦ The level of project implementation costs at all stages of its life cycle	Сравнительно выше Comparatively higher	Сравнительно ниже Comparatively lower	Сравнительно ниже Comparatively lower

в рамках ОЭЗ группы специалистов, которые подберут оптимальный порядок реализации ИСП, учитывая цели и задачи проекта.

По итогам анализа различных видов проектирования, которые представлены в таблице, следует вывод, что редфилд подход — это возможность осуществления эффективного инвестирования путем передачи полномочий по выбору участка и реализации ИСП в руки ОЭЗ и управляющей компании, которая курирует ее работу. Возникает иная форма сотрудничества и кооперации, дающая возможность применения преимуществ всех вышеупомянутых подходов, что обеспечит финансово аргументированное формирование нового вида государственно-частного партнерства, основой которого является возможность достижения и как целей частных предпринимателей [7, 8], выраженная в желании максимизации прибыли, так и повышение материальной производительности деятельности собственных экономических структур и ОЭЗ, являющейся проектом правительства РФ, который направлен на улучшение социально-экономического развития региона и страны в целом [9, 10]. Авторы исследования полагают, что изложенный вид сотрудничества позволит провести обоюдную оптимизацию деятельности как ОЭЗ, которые в последнее время не де-

монстрируют значительных темпов экономического прироста, который на них возлагают², и усовершенствовать механизм организационно-экономических отношений в строительной отрасли, улучшив степень координационной активности пространственного размещения стратегически важных объектов строительства [11–13].

Важное преимущество ведения строительной деятельности и реализации ИСП в ОЭЗ — возможность использования принципа «одно окно», который предполагает значительное сокращение сроков получения исполнительно-разрешительной документации (ИРД), благодаря наличию на территории ОЭЗ органов управления, обладающих расширенными полномочиями других ведомств и учреждений, ответственных за согласование и выдачу разрешений на осуществление работ по возведению объекта строительства. На рис. 1 схематично проиллюстрирован механизм функционирования принципа «одно окно» в рамках ОЭЗ.

Представленный рис. 1 состоит из двух частей, которые демонстрируют процесс использования преимуществ реализации ИСП в ОЭЗ, уделяя внимание выбору типа проектирования и работе принципа «одно окно». В отличие от множества других инструментов территориального развития

² Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Анализ механизма установления и функционирования преференциальных режимов как инструмента социально-экономического развития и внешнеэкономической политики» // Счетная палата Российской Федерации : официальный сайт. 2022. URL: [vdwd3gv17fv0y7o801rri8bfqnqnsivy.pdf](https://ach.gov.ru/vdwd3gv17fv0y7o801rri8bfqnqnsivy.pdf) (ach.gov.ru)

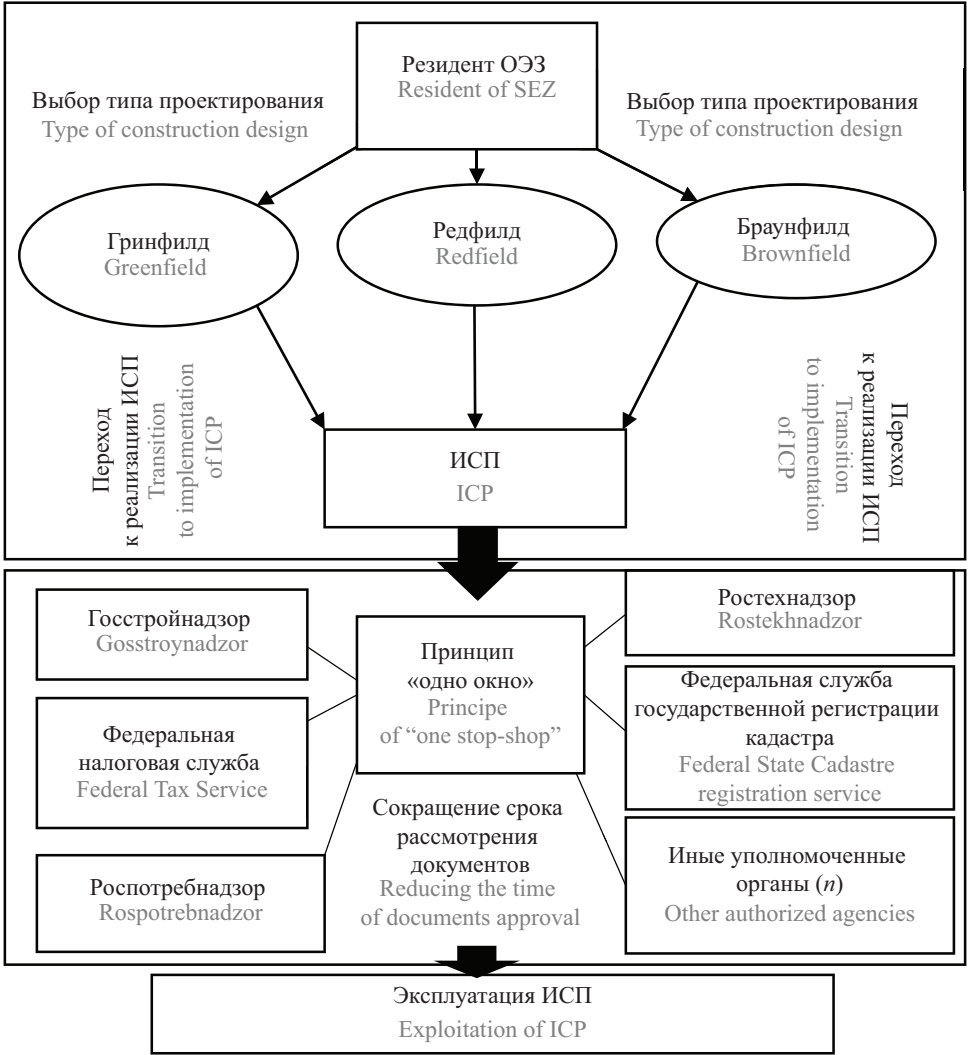


Рис. 1. Механизм функционирования принципа «одно окно» в рамках ОЭЗ при реализации ИСП
Fig. 1. Mechanism of functioning of the “one stop-shop” principle within SEZ during the implementation of ICP

и промышленных площадок, ОЭЗ являются комплексным и комбинированным методом проектирования, позволяющим внедрить гибкую систему планирования проекта, давая выбор: строить с нуля, модифицировать системно-подходящее, доверить подбор и характер инвестирования ОЭЗ и ее управляющей компании. Авторы исследования считают, что возможность передачи функций по проектированию ОЭЗ — наиболее перспективный процесс их трансформации и преобразования в полноценный инструмент комплексного территориального развития, включающий возможность модифицирования девелоперских усилий застройщиков в нужное и стратегически верное с точки зрения бизнеса и государства направление, учитывающее интересы обеих сторон процесса проектирования [14, 15].

Ряд исследователей, изучавших порядок реализации ИСП и его этапы, отмечают, что важность первоначальных вложений в предпроектную и проектную подготовку являются существенными индикаторами успешности проекта [16]. Другие ученые убеждены, что ОЭЗ — это ключевой инструмент

совершенствования строительной отрасли в разрезе всей страны, который способен аккумулировать факторы производства в одном месте, создавая прочные экономические связи между субъектами одного рынка [17–19]. Аналогичной точки зрения придерживается и Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства в собственных документах стратегического развития отрасли, выделяя важность ОЭЗ в решении проблемы координационного и пространственного размещения объектов строительства [2]. Однако недостаточная заинтересованность застройщиков обусловлена низкой прибыльностью и сложностью подобных проектов, что, несомненно, выступает одним из основных препятствий для полноценного применения ОЭЗ в совершенствовании инвестиционно-строительной сферы (ИСС).

Более того, специфика ОЭЗ и их отраслевая направленность предполагают в их экономическом назначении необходимость кластеризации и концентрации производственных усилий в одном месте

[20–22], чтобы обеспечить формирование крупных предприятий-интеграторов ИСС с расширенной горизонтальной и вертикальной структурой, способной на реализацию объектов строительства повышенной сложности и уникальности, которые на данный момент практически невозможно реализовать без усилий государственного регулирования, которое зачастую выступает не только ключевым инвестором этих проектов, но и застройщиком, используя для этого государственные подрядные предприятия. Задача по решению этого противоречия лежит в создании механизма или комплекса методов экономического прогнозирования перспектив реализации ИСП в ОЭЗ, что сформирует необходимую методическую базу для оценки инвестиционно-строительной деятельности в ОЭЗ. Учет различных положительных эффектов, которые оказывают ОЭЗ на процесс реализации ИСП в общем виде, следует свести к снижению срока по созданию планируемого объекта строительства. Ранее в исследовании, которое посвящено сравнительному анализу реализации ИСП в ОЭЗ и в обычных проектных условиях, было установлено, что величина эффекта преимуществ при ведении инвестиционно-строительной деятельности в ОЭЗ — это корреляция успеха проекта от величины затрат и времени, которые было вложены в объект недвижимости. Совокупность льгот, преференций, подготовленная для застройки земля, наличие инженерно-технической инфраструктуры — все это способствует ускоренной реализации ИСП, снижая затраты на его строительство [23], особенно на первоначальных этапах планирования объекта недвижимости.

Таким образом, обобщая вышесказанное, авторы исследования стремятся разработать инструменты планирования и прогнозирования по оценке эффективности реализации ИСП в ОЭЗ, которые направлены на определение коэффициентов линейной и обратной пропорциональности затрат и времени на каждом из этапов ЖЦ проекта. Важным свойством проводимого исследования служит строгая научная последовательность, базирующаяся на построении прямых и параболических функций, демонстрирующих приращение аргумента и функции, что является обобщением пропорциональности. Практическая значимость исследования заключается в решении проблемы по оптимизации деятельности ОЭЗ и совершенствовании различных направлений строительной отрасли, направленных на улучшение пространственно-территориального размещения объектов строительства, избегая диспропорции в их распределении.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Существующие подходы по оценке эффективности инвестиционных проектов следует распределять на те, которые характеризуют эффективность проекта в целом, что направлено на определение

его инвестиционной привлекательности, и поиск источников финансирования с позиции инвестора; и другой подход, предполагающий оценку эффективности участия отдельных субъектов в проектной деятельности, характеризующий роль и вклад стейкхолдеров в проект [24]. В зависимости от масштабов реализуемого проекта в рамках оценки его эффективности определяется его коммерческая и общественная эффективность [25]. Необходимо отметить, что применение обоих способов оценки зачастую имеет комплексный характер, зависящий от результатов предварительной оценки инвестиционной привлекательности проекта. Одним из ключевых факторов, оказывающих влияние на выбор применяемого на практике метода оценки эффективности реализации ИСП, является время, что находит отражение в анализируемых параметрах учета, которые рассматриваются на текущий или будущий период проекта. Необходимость определения горизонтов расчета показателей формирует основу принятия управленческих решений в условиях сравнения вложенных инвестиций и будущих денежных потоков. Ввиду данной особенности, используемый при оценке эффективности ИСП перечень показателей будет различным для каждого из методов оценки и структурируется следующим образом.

1. Статические методы оценки инвестиций, заключающиеся в применении отдельных и точечных значений показателей в условиях равнозначности поступлений и затрат от реализации проекта в каждом из периодов [26]. Преимущество данного метода в простоте его применения и оперативности полученных результатов экспресс-оценки на ранних стадиях инвестиционного проекта, когда необходимо осуществить предварительную оценку его перспективности или в случае рассмотрения малых инвестиционных проектов. Значимым недостатком метода является отсутствие учета фактора времени и его производных — срок эксплуатационной жизни проекта, временная ценность денежных средств, постепенное снижение стоимости объектов основных средств (устаревание оборудования и приход его в негодность). К данной группе методов относятся:

- расчет срока окупаемости инвестиций (PP), направленный на установление величины времени, необходимого на возмещение вложенных инвестором средств в проект. Для определения срока окупаемости следует иметь данные по величине доходных поступлений в рамках рассматриваемого периода. Существенный недостаток данного метода — отсутствие учета всего периода создания проекта (после возврата инвестиций), что приводит к затруднению оценки его прибыльности;

- коэффициент эффективности инвестиций (ARR), который является обратным по смыслу сроку окупаемости и демонстрирует общую рентабельность проекта путем соотношения величины среднегодовой прибыли проекта со средней величиной

инвестиционных вложений [27]. Стоит отметить, что здесь возможны две формы расчета, которые зависят от наличия остаточной стоимости инвестиций по завершении реализации ИСП. Недостатки данного метода заключаются в отсутствии дифференцирования денежных потоков для проектов, имеющих равные значения среднегодовой прибыли, но распределенной неравномерно по годам и достигаемой за счет различных временных периодов;

- коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений K_3 , который рассчитывается путем сопоставления разницы себестоимости выпуска продукции с величиной капитальных вложений по планируемым и уже введенным активам. Ценность данного метода в возможности определения наиболее рентабельного проекта и обоснования замены устаревшего оборудования, которое выражается в расчете конечной разности экономического эффекта. Однако этот метод имеет существенный недостаток, который заключается в абстрагировании ряда условий, характеризующих уровень производительности и срок полезного использования оборудования, а также временной ценности денежных средств.

2. Динамические методы оценки инвестиций, которые предполагают применение ставки дисконтирования для приведения стоимости разновременных денежных потоков проекта к текущей или какой-либо иной конкретной дате [28]. Преимущество данных методов заключается в учете фактора времени, оказывающего значительное влияние на формирование нормы доходности проекта (ставки дисконтирования), которая включает множество аспектов — инфляцию, премию за риск реализации проекта, совокупную стоимость инвестиционных средств и иные показатели, имеющие значение для успешной реализации ИСП [29]. К недостаткам метода относится сложность его применения, обусловленная формированием ставки дисконтирования, требующей точного определения необходимых параметров, которые лягут в ее основу. Кроме того, в случае анализа разновременных потоков следует применять различные ставки дисконтирования, что усложняет процесс оценки эффективности реализации проекта [26]. Таким образом, к динамическим методам оценки инвестиций относятся следующие:

- чистый дисконтированный доход (NPV), рассчитываемый как разница между дисконтированными потоками доходов и расходов проекта за анализируемый период его функционирования [27]. При положительном значении NPV проект считается доходным и предлагается к реализации. Однако ввиду специфики инвестиционно-строительной деятельности зачастую сроки проекта могут изменяться, что приводит к неопределенности и снижает точность данного метода оценки. К тому же, в рамках расчета предполагается применять единую процентную ставку для инвестиций, что в некоторой степени некорректно, поскольку характерным

в инвестиционной деятельности является применение смешанной структуры финансирования, где различные источники вложений имеют неодинаковые процентные ставки;

- индекс рентабельности инвестиций (PI), демонстрирующий величину прибыли на единицу расходов путем сопоставления чистого дисконтированного дохода с первоначально вложенными инвестициями, учитывая выбранную ставку дисконтирования. Значение индекса должно быть выше единицы, в таком случае проект обладает перспективностью. Как правило, данный метод применяется в условиях сравнения проектов, что усложняет процесс определения нормы дисконта для разных ИСП;

- внутренняя норма доходности (IRR), которая выражает такую ставку дисконтирования, при которой NPV равен нулю, что означает безубыточность проекта. Недостаток данного метода оценки — вероятность получения множественности значений, что связано с зависимостью внутренней нормы доходности от частоты положительных денежных потоков, которые реинвестируются к ставке;

- дисконтированный срок окупаемости (DPP), учитывающий фактор времени для стоимости денег. Ранее было упомянуто, что преимуществом данного метода является высокая точность по сравнению с его статической вариацией. К недостаткам относится учет при расчете только тех потоков, которые укладываются в период окупаемости, что определяет вспомогательный характер применения данного метода оценки.

Кроме того, существуют и альтернативные методы оценки, связанные с применением различных техник финансового анализа или имитационного моделирования изменения различных переменных, выражающих факторы в рамках сценарного планирования инвестиционно-строительной деятельности — метод реальных опционов [30] и метод Монте-Карло [31]. Практическая ценность данных способов оценки эффективности инвестирования заключается в возможности принятия гибких управленческих решений, когда существует высокая степень неопределенности, характеризующая отрицательным или близким к нулю значением чистого дисконтированного дохода.

Предлагаемый авторами метод прогнозирования эффективности реализации ИСП в ОЭЗ на различных этапах ЖЦ предполагает объединить ключевые особенности и преимущества «классических» методов оценки в комплексный вид, позволяя преобразовать факторы времени и затраты в форму переменных, выражающих прямую или обратную пропорциональность результативности реализации ИСП. Существенная особенность разработанной методики заключается в упрощении условий реализации ИСП в ОЭЗ, поскольку ОЭЗ — это среда ведения инвестиционно-строительной деятельности, в которой величина неопределенности нивелирована, что дает

возможность в целях простоты расчета пренебречь рядом факторов, которые характерны для стандартных условий проектирования.

Процесс определения вышеупомянутых коэффициентов пропорциональности предполагает осуществление моделирования этапов ЖЦ ИСП при его реализации в ОЭЗ, учитывая совокупность преимуществ, которые способствуют ускоренному ведению инвестиционно-строительной деятельности в ОЭЗ. Методика проводимого исследования заключается в построении совокупности графиков функциональных зависимостей, которые необходимо проиллюстрировать, учитывая важность каждого из этапов проекта на основе изменения затрат и времени, являющихся переменными величинами.

Применение методов моделирования, графического построения зависимостей переменных, обобщения и синтеза полученных данных в процессе исследования позволит сконструировать комплексный инструмент по оценке эффективности реализации ИСП в условиях интенсивной динамики изменения переменных — затрат и времени, влияющих на успех проекта. Воссоздание различных изменений переменных направлено на демонстрацию всевозможных способов решения задачи по увеличению экономического эффекта от реализации ИСП, что дает необходимые средства для определения и выбора наиболее рационального способа достижения поставленной цели, учитывая ограниченность ресурсов.

Первым этапом в рамках исследования необходимо выделить и структурировать ЖЦ ИСП, учитывая особенности ведения деятельности в ОЭЗ. Под жизненным циклом ИСП понимается интервал времени между возникновением идеи проекта, его последующей реализацией и завершением, связанным с ликвидацией объекта строительства и проектирования. Среди исследователей распространены различные мнения относительно классифицирования этапов по реализации ИСП. Многие ученые склоняются к тому, что характерным является определение начала и окончания инвестирования в проект [32], в таком случае стадии (фазы) необходимо выделить следующим образом:

- предынвестиционная фаза, которая характеризуется определением идеи проекта и исследованием конъюнктуры рынка. В рамках этой фазы требуется достичь равновесия между назначением реализуемого объекта строительства с его хозяйственно-экономической функцией, учитывая специфику факторов и условий рыночного сегмента. По результатам формируется концепция по возведению планируемого объекта строительства;
- инвестиционная стадия — совокупность этапов проекта, которые направлены на разработку проектно-сметной и рабочей документации, составленной в соответствии с выбранными подрядчиками на основе контрактных условий. Ключевым документом в рамках этой фазы является календар-

но-ресурсный график ведения работ. В рамках данной фазы классификации осуществляются и строительно-монтажные работы, которые в значительной степени требуют инвестиционных вложений;

- постинвестиционная фаза — завершение проекта и достижение необходимого уровня эксплуатации, который был изложен в документах бизнес-планирования по оценке эффективности реализации ИСП. Важно отметить, что необходимость финансирования не завершается и проект требует инвестирования и амортизации вплоть до ликвидации. Авторы исследования считают, что при распределении этапов реализации ИСП следует уделить особое внимание ранним и концептуальным стадиям, которые тесно связаны с определением правового статуса земельного участка и порядком правоустанавливающего положения объекта строительства. Успех проекта заключается в верном определении рыночной конъюнктуры выбранного сегмента. Перечислим этапы ЖЦ ИСП, учитывая важность исследовательской и предпроектной стадии планирования:

1. Исследовательско-аналитическая (ИА):
 - анализ конъюнктуры рынка и его потребностей — исследование всех факторов среды;
 - определение идеи и назначения проекта;
 - концептуальное планирование;
 - утверждение выбранного сценария по реализации ИСП, учитывая выбранное направление стратегического развития предприятия.
2. Предпроектное планирование (ПП):
 - комплексный сбор документационных положений по изучению специфики технических условий проекта;
 - изучение регламентов, регулирующих порядков застройки выбранной территории под реализацию ИСП;
 - осуществление предварительных инженерно-геологических изысканий земельного участка.
3. Проектирование (П):
 - поиск источников финансирования и разработка календарно-ресурсного планирования сетевым методом планирования работ;
 - оформление технической и рабочей документации, составление сводно-сметного расчета и поиск подрядчиков;
 - прохождение государственной экспертизы и получения разрешений на строительство.
4. Строительство (С):
 - проведение всех работ в соответствии с принятой рабочей документацией;
 - составление итогового варианта сводно-сметного расчета работ;
 - экспертиза завершенных работ и объектов, которые готовы к эксплуатации.
5. Завершение проекта и его эксплуатация (ЗЭ):
 - оценка результатов и подведение итогов реализации ИСП;

• составление пакета сопроводительной документации — оформление права собственности и подписание акта о завершении работ.

Авторы исследования полагают, что в ОЭЗ ранние стадии по разработке концепции проекта, исследованию конъюнктуры рынка и степени инвестиционных вложений в значительной степени разнятся, поскольку ряд преимуществ ОЭЗ позволяет ускорить прохождение этапов ИСП, что в значительной степени сокращает величину совокупных затрат на проект. Более того, множество ученых-исследователей, анализировавших ЖЦ ИСП, сходятся во мнении, что важность верного определения функционального назначения проекта на ранних этапах является верным индикатором финансовой рентабельности инвестиционных вложений [33, 34]. Необходимо обозначить, что ОЭЗ способны к минимизации риска неверно принятых решений относительно реализации ИСП, поскольку дают возможность готовых проектных решений. На рис. 2 представлен график, который демонстрирует разницу затрат по реализации ИСП в ОЭЗ и при обычных условиях.

По результатам данного графического представления зависимости затрат и времени от этапа ИСП следует выделить ряд функциональных зависимостей линейной и обратной пропорциональности, учитывающих критерий линейной оптимальности при ограниченности ресурсов предприятия ИСС. На рис. 3 представлены искомые целевые функции, которые направлены на установление экстремумов, выполняющих задачу по выявлению оптимальных значений необходимого количества ресурсов в условиях ограниченности времени.

Графики иллюстрируют возможность снижения затрат на ранних этапах реализации ИСП, поскольку ОЭЗ обладают подготовленными для застройки земельными участками с подключенными инженерно-техническими коммуникациями, которые подведены в соответствии с правоустанавливающими положениями и документами на основе геологических изысканий. Возможность корректировки условий и затрат реализации ИСП заключается в наличии различных бизнес-проектных решений, которые предлагаются в рамках ОЭЗ. Кроме того, ускоренная реализация ИСП приводит к снижению совокупных затрат, сокращая при этом продолжительность значительного количества этапов ИСП [35, 36], которые направлены на получение ИРД, что обусловлено наличием принципа «одно окно», который функционирует в ОЭЗ.

Прямая и обратная пропорциональность, которая выражена этими функциями, позволяет сделать вывод, что при реализации ИСП существуют две ключевые зависимости, выраженные прямой и обратной пропорциональностью:

- затраты проекта растут постепенно от этапа к этапу с течением времени на его реализацию — это линейная функция, характеризующаяся прямой пропорциональностью затрат и времени;
- влияние этапов ИСП обладает наибольшей значимостью на ранних стадиях ЖЦ проекта, и степень их важности снижается с течением времени — это параболическая функция, характеризующаяся обратной пропорциональностью влияния с течением времени.

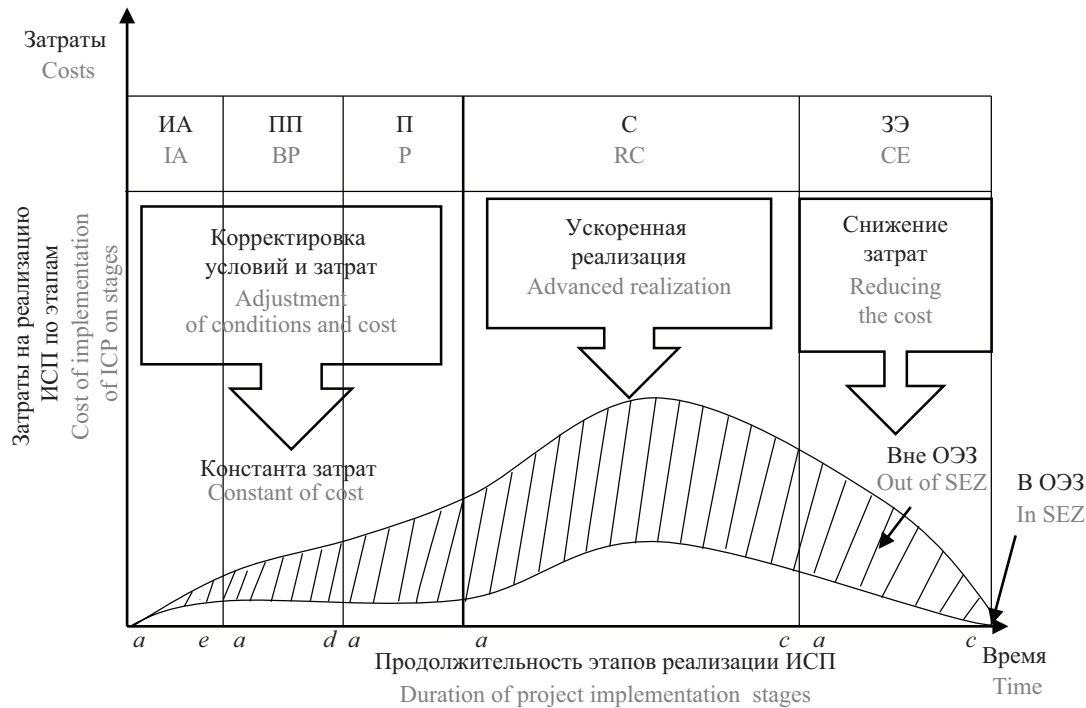


Рис. 2. Разница времени и затрат при реализации ИСП в ОЭЗ и вне ОЭЗ

Fig. 2. The difference in time and costs when implementing ICP in SEZ and outside SEZ

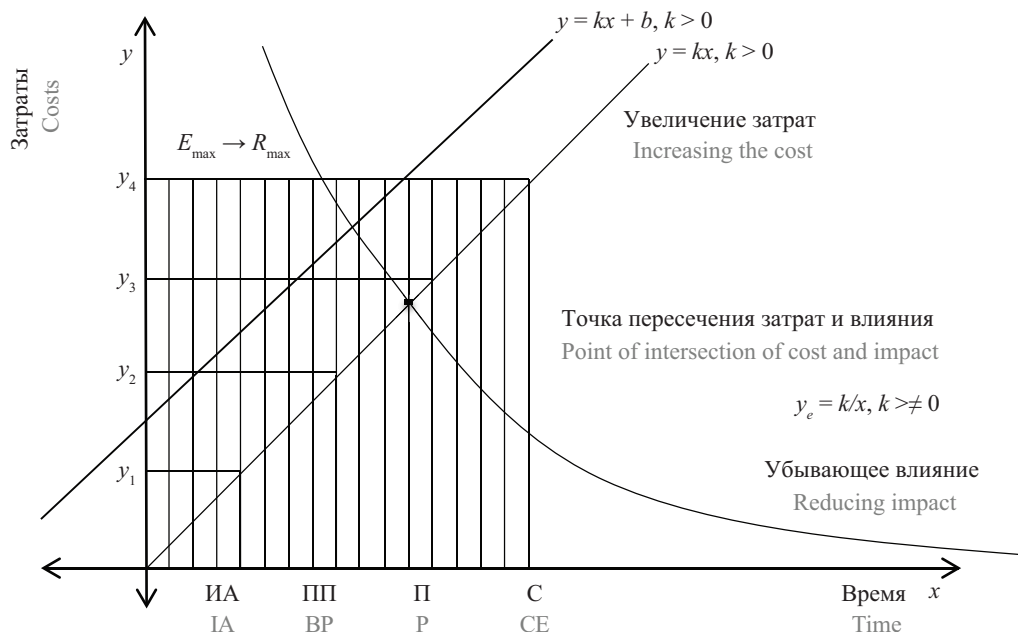


Рис. 3. Прямая и обратная пропорциональности затрат и влияния этапов ИСП с течением времени

Fig. 3. Direct and inverse proportionality of costs and the impact of ICP stages over time

По итогам применения методов графического моделирования изменения величин реализации ИСП в ОЭЗ и вне ОЭЗ установлено, что существует возможность осуществления прогнозирования изменения переменных, характеризующих процесс возведения объекта недвижимости. Авторы считают необходимым разработку методики по использованию преимуществ ОЭЗ для повышения эффективности процесса инвестиционно-строительной деятельности, снизив важность влияния ранних этапов ИСП, и достижения минимизации затрат, ускорив процесс строительства.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе проведенных исследований разработана методика расчета коэффициентов линейной и обратной пропорциональности реализации ИСП в ОЭЗ с применением метода графического моделирования и расчета углового коэффициента строительно-монтажных работ (СМР). Таким образом, оценка эффективности реализации ИСП в ОЭЗ сводится к определению коэффициентов пропорциональности следующих функций:

$$y = kx, k > 0, \quad (1)$$

где y — зависимая переменная, отражающая величину затрат при реализации ИСП; k — коэффициент темпов роста затрат на реализацию ИСП по увеличению времени; x — независимая переменная (аргумент), связанная с важностью влияния этапов ИСП в условиях ограниченности времени.

Пересечение графиков линейной и параболической функций, раскрывающих зависимость роста затрат на реализацию ИСП с постепенным снижением влияния его этапов, наблюдается в точке их

схождения, являющейся положением оптимальности линейного критерия. Точка пересечения этих функций принимает одинаковое значение и позволяет построить линейное уравнение.

Кроме того, положение функциональной зависимости величин в этой точке следует выразить посредством углового коэффициента прямой зависимости затрат и времени на реализацию ИСП:

$$k = \frac{x}{y}. \quad (2)$$

При этом угловой коэффициент линейной функции может быть как положительным, так и отрицательным, и зависит от характера изменения осей абсцисс и ординат. Для нелинейных функций угловые коэффициенты определяются методом касательных к искомым точкам значений графика.

В случае обратной пропорциональности, которая представлена параболической функцией, следует аналогичным образом выделить коэффициент, связанный с определением эффекта влияния этапов ИСП на его успех:

$$y = \frac{k}{x}, k > 0; \quad (3)$$

$$k = \frac{y}{x}. \quad (4)$$

Практическая значимость расчета данных коэффициентов заключается в способности прогнозирования рентабельности и прибыльности проекта.

Следует отметить, что пересечение вышеописанных функций характеризуется непрерывностью, т.е. приращение аргумента аналогичным образом соответствует приращению функции. Возможность визуально наглядного представления интервала, когда ИСП снижает степень риска, оставаясь при этом излишне затратным, раскрывает широкие перспективы применения метода графического моделирования для оценки эффективности реализации ИСП различной сложности и уникальности.

При реализации ИСП в ОЭЗ разработанный подход приобретает иной вид, характеризующийся наличием ряда преимуществ ОЭЗ, способствующих ускоренному осуществлению инвестиционно-строительной деятельности, формируя константу затрат и времени проекта, представленную на рис. 4. Прогнозируемость среды проектных условий предполагает, что влияние внешних и внутренних факторов приобретает корректируемую форму, что отражается на снижении степени важности расчета коэффициентов линейной и обратной пропорциональности. Необходимо обозначить, что подобное изменение в структуре расчета коэффициентов характерно лишь для первоначальных этапов реализации ИСП.

На непосредственном этапе строительства среда возводимого объекта недвижимости трансформируется в более сложно прогнозируемую форму под воздействием совершенно иных переменных, влияющих на процесс ведения СМР. Значимость этих переменных обусловлена целями по эффективному запуску и эксплуатации объекта строительства. Весь ЖЦ реализации ИСП в ОЭЗ дифференцируется по важности расчета коэффициентов пропорциональности на каждом из этапов проекта. Первоначальные этапы реализации ИСП в ОЭЗ опи-

сываются следующей функцией, которая на графике иллюстрируется параллельной прямой относительно оси абсцисс:

$$y = b, k = 0. \tag{5}$$

Величина b приобретает значение, равное оси абсцисс по прямой. На графике $b > 0$ подтверждается положение над осью, которая демонстрирует величину необходимого времени на каждом из этапов проекта. Данное устойчивое положение константы затрат времени и эффект ускоренной реализации ИСП ограничивается и постепенно снижается на этапе осуществления СМР, который представлен линейной функцией прямой зависимости, где угол наклона k — это тангенс искомого угла. Для определения углового коэффициента этапа СМР при реализации ИСП в ОЭЗ авторы предлагают применить метод построения уравнения по двум точкам прямой, используя следующую формулу:

$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \tag{6}$$

где y_2, y_1 — координаты прямой по оси ординат; x_2, x_1 — координаты прямой по оси абсцисс.

Путем подстановки в уравнение значения углового коэффициента, проходящего через точку A (единственную) — тангенс угла, представленный на рис. 4, в результате преобразования получим следующий вид уравнения:

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}. \tag{7}$$

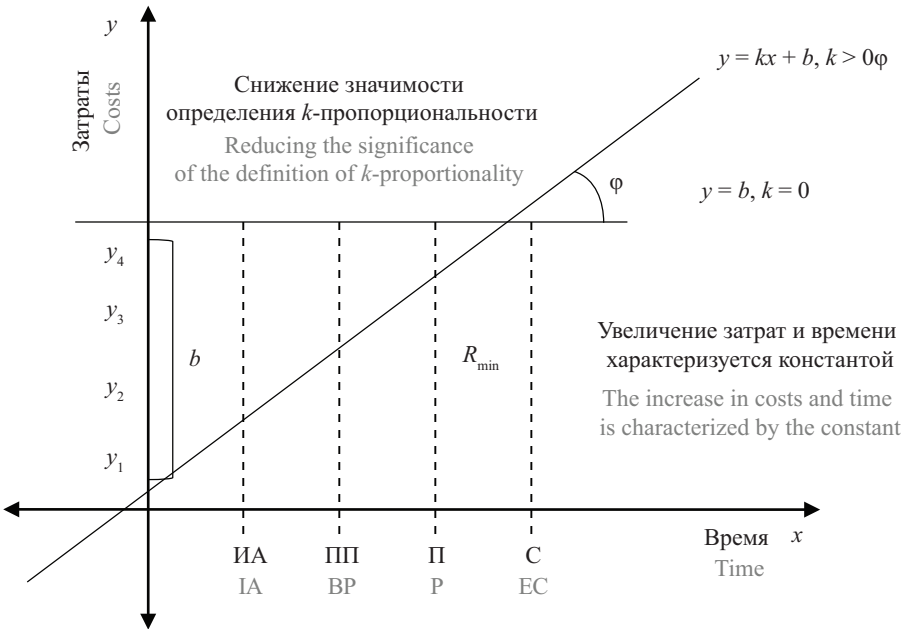


Рис. 4. Константа затрат и времени при реализации ИСП в ОЭЗ

Fig. 4. The constant of costs and time of ICP implementation in the SEZ

Следовательно, зная координаты двух точек прямой, можно определить угловой коэффициент затрат ресурсов и времени на этапе осуществления СМР, включенных в рабочую документацию проекта. Важно отметить, что, если координаты точек параллельны оси абсцисс или ординат, то уравнение прямой на графике приобретает вид в соответствии с условиями: $y = y_1$ и $x = x_1$, что связано с отсутствием углового коэффициента.

Предлагаемая авторами методика рассчитана на оптимизацию затрат и времени на реализацию ИСП на всем протяжении его ЖЦ, применяя для этого преимущества ОЭЗ как инструмент территориального развития.

Личный вклад авторов исследования заключается в разработке теоретически и методологически обоснованного метода по прогнозированию и оценке эффективности реализации ИСП в ОЭЗ на различных этапах его ЖЦ, где важное положение в рамках исследования уделяется оценке значимости влияния проектных условий, формируемых преференциальным режимом хозяйствования ОЭЗ. В результате исследования удалось выявить ряд закономерностей, которые выражены в формировании совокупности переменных, выражающих зависимость затрат этапов проекта и величину их влияния на успех его реализации. Предполагается, что проектные условия ОЭЗ обладают значительной степенью определенности, которая позволяет осуществлять инвестиционно-строительную деятельность со значительным сокращением первоначальных инвестиционных вложений, снизив усилия девелоперов с этапа получения исполнительно-разрешительной документации на этап непосредственного возведения планируемого объекта недвижимости, повышая качество реализации ИСП.

Проведенный анализ существующих методов оценки эффективности инвестиционных вложений выявил наличие ряда недостатков, которые не дают возможности системного использования ОЭЗ в рамках строительной деятельности, поскольку требуют научного осмысления и формирования иного подхода, который будет отражать специфику ОЭЗ в рамках реализации ИСП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании проведенных исследований разработана авторская методика по расчету коэффициентов линейной и обратной пропорциональности реализации ИСП в ОЭЗ, кроме того, осуществлена дифференция этапов ЖЦ проекта и проведен анализ преимуществ ОЭЗ в аспекте совершенствования строительной отрасли. Применение методов графического моделирования и расчета углового коэффициента СМР путем преобразования уравнений прямой позволяет прогнозировать положение динамического изменения переменных — затрат, времени и влияния на каждом из этапов проекта.

Авторы исследования пришли к выводу, что прогнозируемость среды реализации ИСП в ОЭЗ благоприятно влияет на успех его реализации, что вызвано наличием льготного режима, доступом к инженерно-технической инфраструктуре и подготовленной для застройки земли. При анализе различных условий ведения инвестиционно-строительной деятельности существуют кардинальные отличия, выраженные в значительном снижении необходимости расчета коэффициентов линейной и обратной пропорциональности на первоначальных этапах проекта, которые в коренной степени закладывают его успех, однако подобное изменение тенденций переменных нехарактерно на этапе непосредственного строительства, что объясняется необходимостью значительного вложения средств и ресурсов, растущих на всем протяжении этапа в независимости от условий.

Другими словами, использование разработанной методики требует отдельного применения на каждом из этапов проекта отдельных инструментов расчета, которые предполагают возможность сокращения затрат и ресурсов в общем объеме вкладываемых в проект средств. Возможность планирования и оценки эффективности использования ресурсов проекта на различных стадиях приобретает форму графического моделирования, направленного на измерение параметров проекта в различных положениях, которые отражают рациональное применение преимуществ ОЭЗ, выраженных параболическими и линейными функциями.

Важно отметить, что, несмотря на то что исследование направлено на изучение роли ОЭЗ как ключевого инструмента по повышению экономической эффективности строительной отрасли, методика имеет универсальный характер применения и обладает возможностью гибкого изменения для оценки эффективности реализации различных ИСП.

Авторы статьи считают, что ценность разработанной методики заключается в решении проблемы по повышению эффективности деятельности предприятий ИСС, заинтересованных в ведении строительной деятельности в ОЭЗ. Широкая система льгот и преференций ОЭЗ являются важными преимуществами реализации ИСП, позволяя сократить срок возведения объекта строительства, сэкономить значительное количество материальных ресурсов. Более того, ряд ОЭЗ предлагают различные методы сотрудничества и кооперации по выбору типа проектирования — браунфилд, гринфилд, редфилд. Эффективность использования коэффициентов линейной и обратной пропорциональности обусловлена простотой их расчета и однозначностью в трактовании результатов.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что методика обладает комплексностью в отношении оценки эффективности реализации ИСП в ОЭЗ, поскольку пригодна для

всех стадий инвестиционно-строительной деятельности в ОЭЗ. Дальнейшие усилия по изучению роли ОЭЗ в развитии строительной отрасли следует сосредоточить на определении возможностей преобразования результатов графического моделирования изменения переменных методами регрессионного и корреляционного анализов, которые следует апробировать на примере реализации различных проектов строительства в ОЭЗ.

Проведенное авторами исследование строится во многом на результатах теоретического анализа научных трудов, посвященных затронутой проблематике. Однако необходимо обозначить, что возможности апробации и применения разработанной методики по прогнозированию эффективности реализации ИСП в ОЭЗ на различных этапах его ЖЦ имеют практическое обоснование, которое обусловлено возросшей актуальностью применения инструментов содействия экономической активности (ОЭЗ, технопарки и т.д.) для обеспечения политики сбалансированного пространственного развития

и размещения объектов капитального строительства [2]. Синтезирование иного подхода по оценке эффективности инвестиционных вложений, включающего преимущества динамических, статических и альтернативных методов по определению выгоды от реализации проекта, имеющих значительную и длительную практику применения, легло в основу обоснования актуальности и практической применимости предлагаемых коэффициентов пропорциональности.

Осмысление и реорганизация структуры и элементов управления при реализации ИСП в ОЭЗ представленным методом оценки с использованием современных инструментов имитационного моделирования и сценарного планирования требуют проведения значительного количества прикладных исследований, которые позволяют выявить противоречия и нестыковки в разработанных коэффициентах, скорректировав наиболее уязвимые стороны применения утилитарного использования при ограниченности ресурсов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бухарова М.М., Андреев А.Н., Бододько Р.Ф., Гуляева Д.А., Зверков В.И., Кравченко Е.И. и др. Бизнес-навигатор по особым экономическим зонам России — 2021. Выпуск 5. М. : Ассоциация кластеров, технопарков и ОЭЗ России, 2021. 265 с. EDN BRKPFK.

2. Bost F. Special economic zones: methodological issues and definition // Transnational Corporations. 2019. Vol. 26. Issue 2. Pp. 141–156. DOI: 10.18356/948d2781-en

3. Xu J., Wang X. Reversing uncontrolled and unprofitable urban expansion in africa through special economic zones: an evaluation of ethiopian and zambian cases // Sustainability. 2020. Vol. 12. Issue 21. P. 9246. DOI: 10.3390/su12219246

4. Ниязбекова Ш.У., Назаренко О.В., Буневич К.Г., Иванова О.С. Особые экономические зоны России: анализ, проблемы и пути их решения // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. 2019. № 2 (47). С. 213–222. EDN BPJTTH.

5. Андреева И.А. Особые экономические зоны: современное состояние и эффективность // E-Scio. 2020. № 6 (45). С. 493–501. EDN YPRSWA.

6. Аглымова З.Ш., Бикташева А.Ш. Сравнительный анализ инвестиционных площадок формата brownfield и greenfield // Территории опережающего социально-экономического развития: вопросы теории и практики : мат. III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2019. С. 7–9. EDN SGKGXP.

7. Колпакиди Д.В. Современные инструменты развития малого и среднего предпринимательства в России: особые экономические зоны // Известия

Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2019. № 3 (117). С. 57–64. EDN ZHAGAX.

8. Kowalski A.M. Towards an Asian model of clusters and cluster policy: the super cluster strategy // Journal of Competitiveness. 2020. Vol. 12. Issue 4. Pp. 74–90. DOI: 10.7441/joc.2020.04.05

9. Пыльнева Т.Г., Лебошкина О.О. Особые экономические зоны и их роль в экономике России // Инновационная экономика и право. 2017. № 3 (8). С. 83–86. EDN ZWPCNH.

10. Сиваш О.С. Особые экономические зоны и их влияние на устойчивое развитие инвестиционного процесса // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. 2018. № 4 (45). С. 142–152. EDN VPIUAC.

11. Данилова С.Н., Петров А.М., Тэйслина О.Г. Особые экономические зоны в РФ: тенденции развития и организационно-правовые основы функционирования // Промышленность: экономика, управление, технологии. 2019. № 2 (76). С. 57–63. EDN ZDPHHX.

12. Newman C., Page J. Industrial clusters: The case for special economic zones in Africa // WIDER Working Paper. 2017. DOI: 10.35188/UNU-WIDER/2017/239-7

13. Morali O., Yilmaz N. An analysis of spatial dependence in real estate prices // The Journal of Real Estate Finance and Economics. 2022. Vol. 64. Issue 1. Pp. 93–115. DOI: 10.1007/s11146-020-09794-1

14. Bittencourt B., Zen A., Schmidt V., Wegner D. The orchestration process for emergence of clusters of

innovation // Journal of Science and Technology Policy Management. 2018. Vol. 11. Issue 3. Pp. 277–290. DOI: 10.1108/JSTPM-02-2018-0016

15. Crane B., Albrecht C., Duffin M.K., Albrecht C. China's special economic zones: an analysis of policy to reduce regional disparities // Regional Studies, Regional Science. 2018. Vol. 5. Issue 1. Pp. 98–107. DOI: 10.1080/21681376.2018.1430612

16. Мухаррамова Э.Р. Стоимостной инжиниринг в строительстве // Российское предпринимательство. 2016. Т. 17. № 10. С. 1179–1196. DOI: 10.18334/rp.17.10.35283. EDN VZYXND.

17. Жаркова Н.Н. Интеграция кластера и особой экономической зоны как инструмент реализации Концепции 2020 // Экономика, предпринимательство и право. 2017. Т. 7. № 2. С. 95–102. DOI: 10.18334/epp.7.2.38407.

18. Ciżkowicz P., Ciżkowicz-Pękała M., Pękała P., Rzońca A. Why do some special economic zones attract more firms than others? panel data analysis of polish special economic zones // Prague Economic Papers. 2021. Vol. 30. Issue 1. Pp. 61–89. DOI: 10.18267/j.pap.763

19. Namyślak B. Barriers to the development of creative clusters in Poland // Regional Studies, Regional Science. 2020. Vol. 7. Issue 1. Pp. 412–427. DOI: 10.1080/21681376.2020.1814853

20. Li X., Wu X., Tan Y. Impact of special economic zones on firm performance // Research in International Business and Finance. 2021. Vol. 58. P. 101463. DOI: 10.1016/j.ribaf.2021.101463

21. Fu R. Research on motivation and benefits of Hongdou Group's Investment in Sihanoukville special economic zone in Cambodia // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 214. P. 01033. DOI: 10.1051/e3s-conf/202021401033

22. Komorowski M. Identifying industry clusters: a critical analysis of the most commonly used methods // Regional Studies, Regional Science. 2020. Vol. 7. Issue 1. Pp. 92–100. DOI: 10.1080/21681376.2020.1733436

23. Искандаров Д.З., Бороздина С.М. Сравнительный анализ реализации инвестиционно-строительного проекта в особой экономической зоне и в обычных проектных условиях // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 1 (90). С. 158–164. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-1-158-164. EDN UFLFVU.

24. Eskerod P., Huemann M., Savage G. Project stakeholder management — past and present // Project Management Journal. 2015. Vol. 46. Issue 6. Pp. 6–14. DOI: 10.1002/pmj.21555

25. Dabla-Norris E., Brumby J., Kyobe A., Mills Z., Papageorgiou C. Investing in public invest-

ment: an index of public investment efficiency // Journal of Economic Growth. 2012. Vol. 17. Issue 3. Pp. 235–266. DOI: 10.1007/s10887-012-9078-5

26. Maric B., Ivanisevic A., Mitrovic S., Alek-sic S., Rovcanin M. Analysis of internal rate of return on investments: Dynamic and static approach // African Journal of Business Management. 2011. Vol. 5. Issue 8. Pp. 3269–3273.

27. Драганов А.С. Методы оценки эффективности инвестиционного проекта // Скиф. Вопросы студенческой науки. 2019. № 9 (37). С. 130–137. EDN XATGUQ.

28. Kazlauskienė V. Application of social discount rate for assessment of public investment projects // Procedia — Social and Behavioral Sciences. 2015. Vol. 213. Pp. 461–467. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.11.434

29. Sobieraj J., Metelski D. Quantifying Critical Success Factors (CSFs) in management of investment-construction projects: insights from Bayesian model averaging // Buildings. 2021. Vol. 11. Issue 8. P. 360. DOI: 10.3390/buildings11080360

30. Ho S.-H., Liao S.-H. A fuzzy real option approach for investment project valuation // Expert Systems with Applications. 2011. Vol. 38. Issue 12. Pp. 15296–15302. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.06.010

31. Platon V., Constantinescu A. Monte Carlo method in risk analysis for investment projects // Procedia Economics and Finance. 2014. Vol. 15. Pp. 393–400. DOI: 10.1016/S2212-5671(14)00463-8

32. Гасанов А.О., Бендик М.М., Ковтуненко М.Г. Инвестиции в строительство, инвестиционно-строительный проект, его участники, команда, схемы взаимодействия участников проекта // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2020. № 8. С. 831–847. EDN VKQQDC.

33. Пупенцова С.В., Кузнецов А.А. Обоснование нормы рентабельности инвестиционно-строительного проекта // Экономика строительства. 2020. № 5 (65). С. 48–62. EDN SLOQBZ.

34. Kuznetsova O.V. Special economic zones: Efficient or not? // Spatial Economics. 2016. Vol. 4. Issue 48. Pp. 129–152 DOI: 10.14530/se.2016.4.129-152

35. Haaskjold H., Andersen B., Alexander J. Dissecting the project anatomy: Understanding the cost of managing construction projects // Production Planning & Control. 2023. Vol. 34. Issue 2. Pp. 117–138. DOI: 10.1080/09537287.2021.1891480

36. Abd El-Karim M., El Nawawy O., Abdel-Alim A. Identification and assessment of risk factors affecting construction projects // HBRC Journal. 2017. Vol. 13. Issue 2. Pp. 202–216. DOI: 10.1016/j.hbrj.2015.05.001

Поступила в редакцию 3 марта 2023 г.

Принята в доработанном виде 11 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 7 июля 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Далер Зарифович Искандаров — аспирант кафедры менеджмента и инноваций; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 1101400, Scopus: 57224202746, ResearcherID: AAC-5811-2022, ORCID: 0000-0002-5851-7040; iskandarovdaler@gmail.com;

Светлана Михайловна Бороздина — кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента и инноваций; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 654497, Scopus: 57194450904, ResearcherID: AAM-6451-2020, ORCID: 0000-0002-7198-4655; svet_g88@mail.ru.

Вклад авторов:

Искандаров Д.З. — идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи.

Бороздина С.М. — научное руководство, доработка текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Bukharova M.M., Andreev A.N., Bodko R.F., Gulyaeva D.A., Zverkov V.I., Kravchenko E.I. et al. *Business navigator for special economic zones of Russia — 2021. Issue 5*. Moscow, Association of Clusters, Technoparks and SEZs of Russia, 2021; 265. EDN BRKPFK. (rus.).
2. Bost F. Special economic zones: Methodological issues and definition. *Transnational Corporations*. 2019; 26(2):141-156. DOI: 10.18356/948d2781-en
3. Xu J., Wang X. Reversing uncontrolled and unprofitable urban expansion in Africa through special economic zones: an evaluation of Ethiopian and Zambian cases. *Sustainability*. 2020; 12(21):9246. DOI: 10.3390/su12219246
4. Niyazbekova Sh.U., Nazarenko O.V., Bunevich K.G., Ivanova O.S. Special economic zones of Russia: analysis, problems and solutions. *Scientific Bulletin: finance, banks, investments*. 2019; 2(47):213-222. EDN BPJTTH. (rus.).
5. Andreeva I.A. Special economic zones: current state and efficiency. *E-Scio*. 2020; 6(45):493-501. EDN YPRSWA. (rus.).
6. Aglyamova Z.Sh., Biktasheva A.Sh. Comparative analysis of brownfield and greenfield investment platforms. *Territories of advanced socio-economic development: issues of theory and practice : Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation*. 2019; 7-9. EDN SGKGXP. (rus.).
7. Kolpakidi D.V. Modern tools of development of small and medium entrepreneurship in Russia: the special economic zones. *Izvestiya of St. Petersburg State University of Economics*. 2019; 3(117):57-64. EDN ZHAGAX. (rus.).
8. Kowalski A.M. Towards an Asian model of clusters and cluster policy: The super cluster strategy. *Journal of Competitiveness*. 2020; 12(4):74-90. DOI: 10.7441/joc.2020.04.05
9. Pylyneva T.G., Lebozhkina O.O. Special economic zones and their role in the Russian economy. *Innovative Economics and Law*. 2017; 3(8):83-86. EDN ZWPCHN. (rus.).
10. Sivash O.S. Special economic zones and their impact on the sustainable development of the investment process. *Scientific Bulletin: finance, banks, investments*. 2018; 4(45):142-152. EDN VPIUAC. (rus.).
11. Danilova S.N., Petrov A.M., Teyslina O.G. Special economic zones in the Russian federation: development tendencies, organizational and legislative basis. *Industry: Economics, Management, Technology*. 2019; 2(76):57-63. EDN ZDPHHX. (rus.).
12. Newman C., Page J. Industrial clusters: The case for special economic zones in Africa. *WIDER Working Paper*. 2017. DOI: 10.35188/UNU-WIDER/2017/239-7
13. Morali O., Yilmaz N. An analysis of spatial dependence in real estate prices. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*. 2022; 64(1):93-115. DOI: 10.1007/s11146-020-09794-1
14. Bittencourt B., Zen A., Schmidt V., Wegner D. The orchestration process for emergence of clusters of innovation. *Journal of Science and Technology Policy Management*. 2018; 11(3):277-290. DOI: 10.1108/JSTPM-02-2018-0016
15. Crane B., Albrecht C., Duffin M.K., Albrecht C. China's special economic zones: an analysis of policy to reduce regional disparities. *Regional Studies, Regional Science*. 2018; 5(1):98-107. DOI: 10.1080/21681376.2018.1430612
16. Mukharramova E.R. Cost engineering in construction. *Russian Entrepreneurship*. 2016; 17(10):1179-1196. DOI: 10.18334/rp.17.10.35283. EDN VZYXND. (rus.).
17. Zharkova N.N. Integration of the cluster and the special economic zone as a tool for the implementation of the 2020 Concept. *Economics, Entrepreneurship and Law*. 2017; 7(2):95-102. DOI: 10.18334/epp.7.2.38407. (rus.).
18. Ciżkowicz P., Ciżkowicz-Pękała M., Pękała P., Rzońca A. Why do some special economic zones attract more firms than others? Panel data analysis of polish

- special economic zones. *Prague Economic Papers*. 2021; 30(1):61-89. DOI: 10.18267/j.pep.763
19. Namyślak B. Barriers to the development of creative clusters in Poland. *Regional Studies, Regional Science*. 2020; 7(1):412-427. DOI: 10.1080/21681376.2020.1814853
20. Li X., Wu X., Tan Y. Impact of special economic zones on firm performance. *Research in International Business and Finance*. 2021; 58:101463. DOI: 10.1016/j.ribaf.2021.101463
21. Fu R. Research on motivation and benefits of Hongdou Group's Investment in Sihanoukville Special Economic Zone in Cambodia. *E3S Web of Conferences*. 2020; 214:01033. DOI: 10.1051/e3s-conf/202021401033
22. Komorowski M. Identifying industry clusters: a critical analysis of the most commonly used methods. *Regional Studies, Regional Science*. 2020; 7(1):92-100. DOI: 10.1080/21681376.2020.1733436
23. Iskandarov D.Z., Borozdina S.M. Comparative analysis of an investment and construction project implementation in a special economic zone and in typical project conditions. *Bulletin of Civil Engineers*. 2022; 1(90):158-164. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-1-158-164. EDN UFLFVU. (rus.).
24. Eskerod P., Huemann M., Savage G. Project stakeholder management — past and present. *Project Management Journal*. 2015; 46(6):6-14. DOI: 10.1002/pmj.21555
25. Dabla-Norris E., Brumby J., Kyobe A., Mills Z., Papageorgiou C. Investing in public investment: an index of public investment efficiency. *Journal of Economic Growth*. 2012; 17(3):235-266. DOI: 10.1007/s10887-012-9078-5
26. Maric B., Ivanisevic A., Mitrovic S., Aleksic S., Rovcanin M. Analysis of internal rate of return on investments: Dynamic and static approach. *African Journal of Business Management*. 2011; 5(8):3269-3273.
27. Draganov A.S. Methods of evaluating the effectiveness of the investment project. *Skif. Questions of student science*. 2019; 9(37):130-137. EDN XATGUQ. (rus.).
28. Kazlauskienė V. Application of Social Discount Rate for Assessment of Public Investment Projects. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. 2015; 213:461-467. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.11.434
29. Sobieraj J., Metelski D. Quantifying Critical Success Factors (CSFs) in management of investment-construction projects: insights from Bayesian model averaging. *Buildings*. 2021; 11(8):360. DOI: 10.3390/buildings11080360
30. Ho S.-H., Liao S.-H. A fuzzy real option approach for investment project valuation. *Expert Systems with Applications*. 2011; 38(12):15296-15302. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.06.010
31. Platon V., Constantinescu A. Monte Carlo method in risk analysis for investment projects. *Procedia Economics and Finance*. 2014; 15:393-400. DOI: 10.1016/S2212-5671(14)00463-8
32. Gasanov A.O., Bendik M.M., Kovtunenkov M.G. Investment in construction, investment and construction project, its participants, team, schemes of interaction of project participants. *Scientific Works of the Kuban State Technological University*. 2020; 8:831-847. EDN VKQQDC. (rus.).
33. Pupentsova S.V., Kuznetsov A.A. Justification of the discount rate of the investment and construction project. *Construction Economy*. 2020; 5(65):48-62. EDN SLOQBZ. (rus.).
34. Kuznetsova O.V. Special economic zones: Efficient or not? *Spatial Economics*. 2016; 4(48):129-152. DOI: 10.14530/se.2016.4.129-152
35. Haaskjold H., Andersen B., Alexander J. Dissecting the project anatomy: Understanding the cost of managing construction projects. *Production Planning & Control*. 2023; 34(2):117-138. DOI: 10.1080/09537287.2021.1891480
36. Abd El-Karim M., El Nawawy O., Abdel-Alim A. Identification and assessment of risk factors affecting construction projects. *HBRC Journal*. 2017; 13(2):202-216. DOI: 10.1016/j.hbrcej.2015.05.001

Received March 3, 2023.

Adopted in revised form on May 11, 2023.

Approved for publication on July 7, 2023.

B I O N O T E S: **Daler Z. Iskandarov** — postgraduate student of the Department of Management and Innovation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 1101400, Scopus: 57224202746, ResearcherID: AAC-5811-2022, ORCID: 0000-0002-5851-7040; iskandarovdaler@gmail.com;

Svetlana M. Borozdina — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management and Innovation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 654497, Scopus: 57194450904, ResearcherID: AAM-6451-2020, ORCID: 0000-0002-7198-4655; svet_g88@mail.ru.

Contribution of the authors:

Daler Z. Iskandarov — idea, collection of material, processing of material, writing an article.

Svetlana M. Borozdina — scientific guidance, revision of the text.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Анализ и синтез образов экологически ориентированных инновационных технологий строительного производства

Валерий Иванович Теличенко, Азарий Абрамович Лapidус,
Михаил Юрьевич Слесарев

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Возможно или нет автоматизированное генерирование технологических изобретений? Для проверки этой гипотезы предлагается опробовать интеграцию машинного и живого интеллекта человека с помощью искусственного интеллекта (ИИ) на примере разработанной Microsoft и OpenAI нейросети GPT.

Материалы и методы. Использование ИИ в креативном синтезе экологически ориентированных прогрессивных или перспективных словесных и графических образов прорывных технологий с учетом машинной статистической обработки патентной информации и фондов технических регламентов представляется одной из задач креативного прогнозирования объектов техносферы.

Результаты. Намечены подходы к разработке методики автоматизированного прогнозирования прорывных технологий строительного производства. Решены задачи исследования: поиск методов исследования будущего строительной отрасли; поиск корректной терминологии для синтеза образов будущих прорывных технологий и вариантов использования ИИ, способного креативно генерировать словесные и графические образы технологий. Рассмотрены аспекты автоматизированного прогнозирования перспективных строительных технологий, словесные и графические образы будущих прорывных технологий экологически ориентированного строительного производства.

Выводы. Обзор образов прорывных технологий строительного производства показал возможность интеграции живого и искусственного интеллекта при соответствующей терминологической и методологической проработке баз данных и алгоритмов информационной логистики для автоматизированного генерирования новых технологических изобретений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: живой интеллект, искусственный интеллект, прогнозирование прорывной технологии, методология экологически ориентированного прогнозирования, образ прорывной технологии, экологически ориентированная инновация, экологически ориентированное техническое решение

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Теличенко В.И., Лapidус А.А., Слесарев М.Ю. Анализ и синтез образов экологически ориентированных инновационных технологий строительного производства // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 8. С.1298–1305. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1298-1305

Автор, ответственный за переписку: Михаил Юрьевич Слесарев, Slesarev@mgsu.ru.

Analysis and synthesis of images of environmentally oriented innovative technologies of construction production

Valeriy I. Telichenko, Azariy A. Lapidus, Mikhail Yu. Slesarev

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

ABSTRACT

Introduction. Is automated generation of technological inventions possible or not? To test this hypothesis, the authors propose to test the integration of human machine and living intelligence using artificial intelligence, using the example of the GPT neural network developed by Microsoft and OpenAI.

Materials and methods. The use of artificial intelligence in the creative synthesis of environmentally oriented progressive or perspective verbal and graphic images of breakthrough technologies, taking into account the statistical processing of patent information and funds of technical regulations is one of the tasks of creative forecasting of technosphere objects.

Results. The purpose of the study has been achieved – approaches to the development of methods of automated forecasting of breakthrough technologies of construction production have been outlined. The following research tasks were solved: search for methods of researching the future of the construction industry; search for correct terminology for synthesizing images of future breakthrough technologies and options for using artificial intelligence capable of creatively generating verbal and graphic images of technologies. The object of research — aspects of automated prediction of promising construction technologies is confirmed. The subject of the study — verbal and graphic images of future breakthrough technologies of environmentally oriented construction production is confirmed.

Conclusions. The review of images of breakthrough technologies of construction production showed the possibility of integrating live and artificial intelligence with appropriate terminological and methodological elaboration of databases and information logistics algorithms for automated generation of new technological inventions. The use of artificial intelligence in the creative synthesis of environmentally oriented verbal and graphic images of breakthrough technologies, taking into account the statistical processing of patent information and funds of technical regulations, is one of the tasks of creative forecasting of technosphere objects.

Keywords: living intelligence, artificial intelligence, forecasting of breakthrough technology, methodology of environmentally oriented forecasting, image of breakthrough technology, environmentally oriented innovation, environmentally oriented technical solution

FOR CITATION: Telichenko V.I., Lapidus A.A., Slesarev M.Yu. Analysis and synthesis of images of environmentally oriented innovative technologies of construction production. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1298-1305. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1298-1305. (rus.).

Corresponding author: Mikhail Yu. Slesarev, Slesarev@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Цель исследования — обзор образов прорывных технологий строительного производства при интеграции живого и искусственного интеллекта (ИИ).

Задачи исследования:

- поиск методов исследования будущего строительной отрасли и образов прорывных технологий;
- поиск корректной терминологии для синтеза образов будущих прорывных технологий с помощью ИИ;
- автоматизированный скрининг существующих технологий и экологическая экспертиза сгенерированных образов проектов прогрессивных и перспективных технологий.

В границах исследования поднимается проблема устойчивости развития отрасли и общества для предстоящего решения, состоящая из двух вопросов: 1) как с помощью живого человеческого и искусственного интеллекта обеспечить совместимость бесконфликтного, т.е. устойчивого развития на планете биосферы и техносферы; 2) как заставить ИИ креативно генерировать самостоятельно, или в интеграции с живым интеллектом эксперта, инновационные прорывные решения экологически ориентированных технологий, например, в области строительства. При этом постулируется, что представителем биосферы выступает человек, а представителем техносферы — искусственный интеллект.

Возможность наметить новые направления развития перспективных, неизвестных и нереализованных ранее в техносфере инновационных технологий, очевидно, может информационная технология генерирования текстов на основе использования собственного подсознания и футуристических произведений, созданных как человеком, так и ИИ; плюс

алгоритмы теории решения изобретательских задач, идеология конструирования, технология обработки больших данных и существующие базы данных патентной и научно-технической информации, а также правовой информации для экспертизы экологической безопасности принимаемых технических решений.

Использование ИИ в креативном синтезе экологически ориентированных перспективных образов прорывных технологий с учетом статистической обработки патентной информации и фондов технических регламентов является одной из задач креативного прогнозирования объектов техносферы, интегрированного с подсознанием квалифицированного разработчика, грамотного в области идеологии конструирования компонентов технологии и алгоритмов решения изобретательских задач.

Объект исследования — это методология автоматизированного прогнозирования перспективных строительных технологий при интеграции живого и искусственного интеллекта. *Предмет исследования* — образы будущих прорывных технологий строительного производства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассматривается состояние разработки и решение проблемы автоматизации анализа и синтеза прорывных технологий в строительной отрасли. Сегодня наиболее популярен метод прогнозирования — быстрый форсайт¹ [1]. Метод управления подсознанием человека изучается в книге Д. Кехо [2]; алгоритмы выработки новых технических решений, или алгоритмы решения изобретательских задач (АРИЗ), представлены в работах по теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) и идеологии конструирования [3, 4], и на страницах организаций ТРИЗ²,

¹ Быстрый форсайт (англ. Rapid Foresight — RF) — это инструмент для прогнозирования и формирования будущего, позволяющий за короткий период времени получить точные прогнозы и объединить людей для реализации своих представлений о нем. URL: https://research.nevafilm.ru/public/research/articles/foresight_manual.pdf

² Официальный фонд Г.С. Альтшуллера. URL: <http://www.altshuller.ru>; Методолог. URL: <http://www.metodolog.ru>; TRIZLAND.RU. URL: <http://www.trizland.ru>; ОТСМ-ТРИЗ. URL: <http://www.trizminsk.org>; Саммит разработчиков ТРИЗ. URL: <http://www.triz-summit.ru>; МАТРИЗ. URL: <http://www.matriz.org/o-матриз>; Европейская Ассоциация ТРИЗ (ETRIA — European TRIZ Association). URL: <http://etria.eu/portal/>; Altshuller Institute for TRIZ studies. URL: <http://www.aitriz.org>; TRIZ Forum. URL: <http://www.osaka-gu.ac.jp/php/nakagawa/TRIZ/eTRIZ/eTRIZforum.html>; KATA (Korea Academic TRIZ Association). URL: <http://www.koreatrizen.kr>

а также в многочисленных авторских публикациях по прогнозированию и перспективам «зеленой» экономики, в том числе «зеленого» строительства.

В настоящее время известны прорывы технологий в следующих главных направлениях — информатизация и цифровизация, а также новые прогрессивные³ и перспективные⁴ материалы и конструкции для строительства, в том числе авторские разработки [4–15].

Во-первых, рассмотрим некоторые образы прорывных информационных технологий, которые могут составить главный тренд развития технологий разработки методики автоматизированного прогнозирования прорывных технологий строительного производства.

GPT — нейросеть [16, 17]. GPT-3 — нейросеть-трансформер, генерирующая ответы на вопросы. Недавно OpenAI выпустила модель языкового прогнозирования четвертого поколения (GPT-4) с открытым исходным кодом, успешно заменяющая труд программистов от начального до среднего уровня квалификации. Языковые модели позволяют компьютерам создавать случайные предложения приблизительно той же длины и грамматической структуры, что и заданные в качестве образца.

Data Trusts — «доверительное хранение данных» [18]. Доверительный фонд хранит и управляет данными людей по их поручению и от их имени.

Wi-Fi 6 и 5G — стандарты связи и беспроводного интернета [19]. 5G улучшает мобильную широкополосную связь: скоростную передачу потокового видео в соцсетях и онлайн-сервисах с минимальными задержками в передаче сигнала (всего 1–2 мс); по данным Accenture, с помощью 5G станет возможна поддержка до 1 млн устройств на км².

*Виртуальная и дополненная реальность*⁵.

Вычисления как сервис [20].

Голосовой поиск и голосовые помощники [21].

Во-вторых, рассмотрим некоторые образы прорывных «зеленых» технологий, которые могут составить главный тренд развития технологий в строительстве в ближайшей перспективе:

*3D-модели*⁶; подход к использованию BIM-модели продемонстрировала ГК «Неолант».

3D-печать зданий и сооружений [22].

Получение воды из воздуха — уникальная водосборная система, которая извлекает воду из сухого воздуха, а работает на солнечной энергии [23].

Дороги из переработанного пластика — разработка нидерландской компании VolkerWessels.

Пищевой цемент. Исследователи из Токийского университета придумали оригинальный способ рециклинга пищевых отходов — производить из них строительный материал, по прочности не уступающий бетону [24].

«Зеленый» водород [25].

Сверхпроводники, работающие при комнатной температуре [26].

Литий-металлические аккумуляторы имеют все шансы изменить расстановку сил на рынке [27].

Самовосстанавливающийся бетон [28].

Оксинитрид алюминия (прозрачный алюминий) — керамика на основе алюминия [29].

Аэрогель — твердый и одновременно легкий изоляционный материал [30].

Прозрачный бетон — бетон, пропускающий свет [31].

Антибактериальная плитка [32].

Строительные дроны [33].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все вышеприведенные примеры прорывных технологий так или иначе проявили себя на рынке и могут относиться к прогрессивным технологиям, которые будут продвигаться на строительный рынок технологий, обеспечивая конкурентное преимущество компаниям, обладающим патентами и лицензиями на использование этих технических решений в форме изобретений устройств и способов применения.

Методология синтеза экологически ориентированных *прогрессивных* инновационных технологий строительного производства в НИУ МГСУ была опробована в 2005–2008 гг. в ручном режиме. В то время не было ни поисковой системы Яндекс патенты, ни нейросетей типа GPT — нейросеть на базе алгоритмов распознавания текста NLP, а ТРИЗ уже существовала, также как и идеология конструирования [34], и в результате реализации были синтезированы и получены патенты на изобретения, запатентованные технические решения

³ Прогрессивные материалы для строительства — это усовершенствованные уже используемые в современном технологическом укладе материалы.

⁴ Перспективные материалы для строительства — материалы с новыми свойствами и еще неиспользуемые в современном технологическом укладе материалы.

⁵ Смолин А.А., Жданов Д.Д., Потемин И.С., Меженев А.В., Богатырев В.А. Системы виртуальной, дополненной и смешанной реальности : учебное пособие. СПб. : Университет ИТМО, 2018. 59 с. URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2321.pdf>

⁶ Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства : Постановления Правительства РФ от 05.03.2021 № 331.

прогрессивных и перспективных строительных технологий [4–15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одно из самых перспективных направлений в развитии ИИ и, в частности, нейросетей — это креативная интеграция с человеком (исследователем или изобретателем, или экспертом), например, по вопросам синтеза образов экологической безопасности строительной технологии. Сейчас алгоритмы умеют распознавать изображения, лица, отпечатки пальцев, звуки и голос. Они также умеют говорить и генерировать изображения и видео, имитируя наше восприятие разных органов чувств. Профессиональные навыки, которые могут дополнить или заменить программы ИИ, в первую очередь — диагностика неполадок и состояния как живых организмов, так и технических объектов, подготовка экспертных заключений всех видов экспертизы, включая экологическую, патентную, юридическую и др. Перед разработчиками ИИ, и в том числе нейросетей, стоит задача создать мультимодальные экспертные системы, которые машинное распознавание вкупе с обработкой текста объединили бы с человеческим живым ассоциативным восприятием информации вместе с творческим поиском новых технических решений, безопасных для окружающей среды. Возможно предположить, что крупные компании и университеты начнут объединять усилия в области патентной экспертизы, объединенной с экологической экспертизой и генеративным дизайном, и в будущем можно будет не тратить человеческие ресурсы, пытаясь найти необходимую информацию в огромном каталоге патентной информации с описанием изобретений или в нормативах с требованиями экологической безопасности, а просто написать в поисковой строке нужный запрос на техническое решение с заданными функциями и параметрами. Нейросеть обработает запрос эксперта и выдаст подходящую схему с описанием нового технического решения прорывной строительной технологии. Если будет предложена технология, не совсем подходящая, по мнению эксперта, то придется уточнить запрос ИИ. Сегодня это пока доступные в открытом доступе GPT-2, GPT-3, GPT-4.

Задачи интеграции живого и искусственного интеллекта могут решаться с использованием эффективных инструментов для вовлечения студентов в обучение на электронных курсах: поиск образцов прорывных технологий и корректной терминологии для синтеза образов будущих прорывных технологий с помощью ИИ; автоматизированный скрининг существующих технологий и экологическая экспертиза сгенерированных образов проектов прогрессивных и перспективных технологий.

Подходы к разработке методики автоматизированного прогнозирования прорывных технологий строительного производства: поиск нейросетей и машинных методов исследования будущего строительной отрасли; поиск корректной терминологии для синтеза образов будущих прорывных технологий и вариантов использования ИИ, способного креативно генерировать словесные и графические образы технологий. Объект исследования — аспекты автоматизированного прогнозирования перспективных строительных технологий. Предмет исследования — словесные и графические образы будущих прорывных технологий экологически ориентированного строительного производства.

Тренды развития строительной отрасли:

- экологизация всех видов деятельности, в первую очередь, образования на всех уровнях, в том числе подготовка кадров для строительной отрасли и коммунального хозяйства с учетом создания повсеместно «зеленой» среды жизнедеятельности на основе «зеленой» инновационной продукции;
- автоматизация интеллектуального творческого труда инженеров, архитекторов, экспертов, изобретателей, ученых и исследователей во всех отраслях, и прежде всего в строительной и градостроительной отрасли;
- повышение производительности труда и эффективности производства на основе внедрения прорывных прогрессивных и перспективных технологий, в первую очередь, в строительной отрасли и коммунальном хозяйстве;
- риски разработчиков перемещаются в область возможной утраты моральных ценностей и потери прав интеллектуальной собственности с вытекающими последствиями возможной утраты научного и технологического суверенитета, так как материальные затраты на производство инновационной продукции обесцениваются применением искусственного интеллекта и доступностью программных средств и баз знаний и данных.

Обзор образов прорывных технологий строительного производства показал возможность интеграции живого и искусственного интеллекта при соответствующей терминологической и методологической проработке баз данных и алгоритмов информационной логики для автоматизированного генерирования новых технологических изобретений. Использование ИИ в креативном синтезе экологически ориентированных словесных и графических образов прорывных технологий с учетом машинной статистической обработки патентной информации и фондов технических регламентов представляется одной из задач креативного прогнозирования объектов техносферы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Песков Д., Кожаринов М., Лукша П., Савчук И. Методология развития Rapid Foresight. Версия 0.4 // Агентство стратегических инициатив. 2017. 91 с. URL: https://research.nevafilm.ru/public/research/articles/foresight_manual.pdf
2. Кехо Д. Подсознание может все! / пер. с англ. Минск : Попурри, 2012. URL: https://www.google.ru/books/edition/_/NpE3zwEACAAJ?hl=ru&sa=X&ved=2ahUKewjpp6m8wef9AhUPqIsKHRtnAn8Qre8FegQIHRAH
3. Петров В. Основы ТРИЗ. Теория решения изобретательских задач. 2-е изд., испр. и доп. Издательские решения, 2018. 507 с.
4. Патент RU № 2307901 C1. Противопожарный строительный блок, способ его изготовления и огнезащитная конструкция стены из этих блоков / Король Е.А., Макаров Г.В., Слесарев М.Ю., Теличенко В.И.; заявл. № 2005139175/03 от 15.12.2005, опубл. 10.10.2007. Бюлл. № 28. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2307901C1_20071010
5. Патент RU № 2304201 C1. Фильтрующий строительный блок для очистки воздуха / Король Е.А., Макаров Г.В., Слесарев М.Ю., Теличенко В.И.; заявл. № 2005139178/03 от 15.12.2005, опубл. 10.08.2007. Бюлл. № 22. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2304201C1_20070810
6. Патент RU № 2304204 C1. Мехатронный строительный блок / Король Е.А., Макаров Г.В., Слесарев М.Ю., Теличенко В.И.; заявл. № 2005139174/03 от 15.12.2005, опубл. 10.08.2007. Бюлл. № 22. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2304204C1_20070810
7. Патент RU № 2304203 C1. Вентилируемый строительный блок и система противорадиоловой защиты здания с использованием этих блоков / Король Е.А., Макаров Г.В., Слесарев М.Ю., Теличенко В.И.; заявл. № 2005139177/03 от 15.12.2005, опубл. 10.08.2007. Бюлл. № 22. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2304203C1_20070810
8. Патент RU № 2303684 C1. Строительный блок с терморегулируемым пневматическим фасадом / Король Е.А., Макаров Г.В., Слесарев М.Ю., Теличенко В.И.; заявл. № 2005139176/03 от 15.12.2005, опубл. 27.07.2007. Бюлл. № 21. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2303684C1_20070727
9. Патент RU № 2303109 C1. Аккумулирующий тепло или холод строительный блок и стена из этих блоков / Король Е.А., Макаров Г.В., Слесарев М.Ю., Теличенко В.И.; заявл. № 2005139179/03 от 15.12.2005, опубл. 20.07.2007. Бюлл. № 20. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2303109C1_20070720
10. Патент RU № 2324037 C1. Вакуумный строительный блок и способ его изготовления / Король Е.А., Макаров Г.В., Слесарев М.Ю., Теличенко В.И.; заявл. № 2005139173/03 от 15.12.2005, опубл. 10.05.2008. Бюлл. № 13. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2324037C2_20080510
11. Патент RU № 2307029 C1. Способ сборки и разборки опалубки / Король Е.А., Слесарев М.Ю., Теличенко В.И.; заявл. № 2005139172/03 от 15.12.2005, опубл. 27.09.2007. Бюлл. № 27. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2307029C1_20070927
12. Патент RU № 2307903 C1. Способ изготовления многослойного строительного изделия / Король Е.А., Слесарев М.Ю., Теличенко В.И.; заявл. № 2005139170/03 от 15.12.2005, опубл. 10.10.2007. Бюлл. № 28. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2307903C1_20071010
13. Патент RU № 2339771 C1. Резервуарный строительный блок / Король Е.А., Слесарев М.Ю.; заявл. № 2007106768/03 от 26.02.2007, опубл. 27.11.2008. Бюлл. № 33. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2339771C1_20081127
14. Патент RU № 2338038 C1. Отопительный строительный блок / Король Е.А., Макаров Г.В., Слесарев М.Ю.; заявл. № 2007106770/03 от 26.02.2007, опубл. 10.11.2008. Бюлл. № 31. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2338038C1_20081110
15. Патент RU № 2338039 C1. Электрогенерирующий строительный блок изделия / Король Е.А., Слесарев М.Ю., Теличенко В.И.; заявл. № 2007106769/03 от 26.02.2007, опубл. 10.11.2008. Бюлл. № 31. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2338039C1_20081110
16. Heaven W.D. Why GPT-3 is the best and worst of AI right now. URL: <https://www.technologyreview.com/2021/02/24/1017797/gpt3-best-worst-ai-openai-natural-language/>
17. Brown T.B., Mann B., Ryder N., Subbiah M., Kaplan J., Dhariwal P. et al. Language models are few-shot learners // arXiv:2005.14165 [cs.CL]. 2020. DOI: 10.48550/arxiv.2005.14165
18. Ruhaak A. How data trusts can protect privacy. 2021.
19. Shpak M. Сходства и различия между Wi-Fi 6 и 5G. 2020. URL: <https://habr.com/ru/companies/huawei/articles/505042/>
20. Хабаров Р.С., Хомоненко А.Д. Расчет многоканальной системы массового обслуживания с прерываниями и гиперэкспоненциальными распределениями времен обработки заявок и периода непрерывной занятости // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 5. С. 48–56. DOI: 10.24411/2409-5419-2018-10287
21. Поначугин А.В., Пичужкина Д.Ю., Смекалова Е.С. Голосовой помощник как технология обработки данных // Наука без границ. 2020. № 6 (46). С. 96–100. URL: <https://nauka-bez-granic.ru/No-6-46-2020/6-46-2020/>
22. Абаева А.В. Инновационные технологии строительства зданий и сооружений: 3D-печать // Столыпинский вестник. 2022. Т. 4. № 6. EDN NMQDNE.

23. Kim H., Yang S., Rao S.R., Narayanan S., Kapustin E.A., Furukawa H. et al. Water harvesting from air with metal-organic frameworks powered by natural sunlight // *Science*. 2017. Vol. 356. Issue 6336. Pp. 430–434. DOI: 10.1126/science.aam8743

24. Сочалин О. «Вкусная архитектура» — в Японии создали бетон из переработанных пищевых отходов. 2022. URL: https://www.architime.ru/news/institute_industrial_science_ut/edible_cement.htm#1.jpg

25. Корнеев К.А. Зеленый водород в Восточной Азии // *Геоэкономика энергетики*. 2021. Т. 15. № 3. С. 98–115. DOI: 10.48137/2687-0703_2021_15_3_98. EDN XDQKZK.

26. Snider E., Dasenbrock-Gammon N., McBride R., Debessai M., Vindana H., Vencatasamy K. et al. RETRACTED ARTICLE: Room-temperature superconductivity in a carbonaceous sulfur hydride // *Nature*. 2020. Vol. 586. Issue 7829. Pp. 373–377. DOI: 10.1038/s41586-020-2801-z

27. Singh J. This super-energy-dense battery could nearly double the range of electric vehicles // *MIT Technology Review*. 2020. URL: <https://www.technologyreview.com/2020/12/08/1013357/quantumscape-vw-lithium-metal-battery/>

28. Жукова Г.Г., Сайфулина А.И. Исследование применения самовосстанавливающегося бетона // *Construction and Geotechnics*. 2020. Т. 11. № 4. С. 58–68. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.4.05

29. Матренин С.В., Мостовицков А.В., Мировой Ю.А., Чудинова А.О. Исследование структуры

и физико-механических свойств керамики на основе оксинитридов алюминия и циркония // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022. Т. 333. № 2. С. 184–192. DOI: 10.18799/24131830/2022/2/3569. EDN ZXMQQM.

30. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33. EDN TJEMOB.

31. Кодзоев М.Х., Исаченко С.Л. Светопроводящий бетон // *Бюллетень науки и практики*. 2018. Т. 4. № 6. С. 184–187. DOI: 10.5281/zenodo.1289841. EDN XQVWQP.

32. Левицкий И.А., Шиманская А.Н. Металлизированные глазурные покрытия для керамогранита, обладающие биоцидными свойствами // *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*. 2018. Т. 2. № 2. С. 132–139.

33. Носков И.В., Носков К.И., Тиненская С.В., Ананьев С.А. Дрон-технологии в строительстве — современные решения и возможности // *Вестник Евразийской науки*. 2020. № 5. URL: <https://esj.today/PDF/37SAVN520.pdf>

34. Крайнев А.Ф. Идеология конструирования. М. : Машиностроение-1, 2003. 384 с.

Поступила в редакцию 3 мая 2023 г.

Принята в доработанном виде 23 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 7 июля 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Валерий Иванович Теличенко — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, президент; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 449402; President@mgsu.ru;

Азарий Абрамович Лapidус — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 8192-2653, Scopus: 57192378750, ResearcherID: B-4104-2016, ORCID: 0000-0001-7846-5770; Lapidusaa@mgsu.ru;

Михаил Юрьевич Слесарев — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 6464-2922, Scopus: 657608631, ResearcherID: B-3423-2016; ORCID: 0000-0003-4528-2817; Slesarev@mgsu.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Peskov D., Kozharinov M., Luksha P., Savchuk I. Methodology of Rapid Foresight development. Version 0.4. *Agency for Strategic Initiatives*. 2017; 91. URL: https://research.nevafilm.ru/public/research/articles/foresight_manual.pdf (rus.).

2. Keho D. *Subconsciousness can do anything!* / transl. from English. Minsk, Popurri, 2012. URL: https://www.google.ru/books/edition/_/NpE3zwEACAAJ?hl=ru&sa=X&ved=2ahUKewjpp6m8wef9AhUPqIsKHRTnAn8Qre8FegQIHRAH (rus.).

3. Petrov V. *Fundamentals of TRIZ. Theory of inventive problem solving. 2nd edition, corrected and supplemented*. Publishing solutions, 2018; 507. (rus.).
4. Patent RU No. 2307901 C1. *Fire building block, method for building block production and fire-proofing wall structure to be constructed of said blocks* / Korol' E.A., Makarov G.V., Slesarev M.Ju., Telichenko V.I.; application No. 2005139175/03, 15.12.2005, publ. 10.10.2007. Bull. No. 28. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2307901C1_20071010
5. Patent RU No. 2304201 C1. *Filtering building block for air cleaning* / Korol' E.A., Makarov G.V., Slesarev M.Ju., Telichenko V.I.; application No. 005139178/03, 15.12.2005, publ. 10.08.2007. Byull. No. 22. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2304201C1_20070810
6. Patent RU No. 2304204 C1. *Mechatronic building block* / Korol' E.A., Makarov G.V., Slesarev M.Ju., Telichenko V.I.; application No. 2005139174/03, 2005.12.15, publ. 10.08.2007. Byull. No. 22. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2304204C1_20070810
7. Patent RU No. 2304203 C1. *Vented building block and radon-protective system for building using above building blocks* / Korol' E.A., Makarov G.V., Slesarev M.Ju., Telichenko V.I.; application No. 2005139177/03, 2005.12.15, publ. 10.08.2007. Byull. No. 22. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2304203C1_20070810
8. Patent RU No. 2303684 C1. *Building unit with heat-controlled pneumatic facade* / Korol' E.A., Makarov G.V., Slesarev M.Ju., Telichenko V.I.; application No. 2005139176/03, 2005.12.15, publ. 27.07.2007. Byull. No. 21. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2303684C1_20070727
9. Patent RU No. 2303109 C1. *Construction heat-or cold-accumulation block and wall erected of above blocks* / Korol' E.A., Makarov G.V., Slesarev M.Ju., Telichenko V.I.; application No. 2005139179/03, 2005.12.15, publ. 20.07.2007. Bull. No. 20. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2303109C1_20070720
10. Patent RU No. 2324037 C1. *Vacuum concrete block and method of making same* / Korol' E.A., Makarov G.V., Slesarev M.Ju., Telichenko V.I.; application No. 2005139173/03, 2005.12.15, publ. 10.05.2008. Byull. No. 13. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2324037C2_20080510
11. Patent RU No. 2307029 C1. *Method of assembling and disassembling casing* / Korol' E.A., Slesarev M.Ju., Telichenko V.I.; application No. 2005139172/03, 2005.12.15, publ. 27.09.2007. Byull. No. 27. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2307029C1_20070927
12. Patent RU No. 2307903 C1. *Method for laminated building article production* / Korol' E.A., Slesarev M.Ju., Telichenko V.I.; application No. 2005139170/03, 2005.12.15, publ. 10.10.2007. Byull. No. 28. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2307903C1_20071010
13. Patent RU No. 2339771 C1. *Storage construction block* / Korol' E.A., Slesarev M.Ju.; application No. 2007106768/03, 2007.02.26, publ. 27.11.2008. Byull. No. 33. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2339771C1_20081127
14. Patent RU No. 2338038 C1. *Heating masonry unit* / Korol' E.A., Makarov G.V., Slesarev M.Ju.; application No. 2007106770/03, 2007.02.26, publ. 10.11.2008. Byull. No. 31. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2338038C1_20081110
15. Patent RU No. 2338039 C1. *Electrogenerating masonry unit* / Korol' E.A., Slesarev M.Ju., Telichenko V.I.; application No. 2007106769/03, 2007.02.26, publ. 10.11.2008. Byull. No. 31. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2338039C1_20081110
16. Heaven W.D. *Why GPT-3 is the best and worst of AI right now*. URL: <https://www.technologyreview.com/2021/02/24/1017797/gpt3-best-worst-ai-openai-natural-language/>
17. Brown T.B., Mann B., Ryder N., Subbiah M., Kaplan J., Dhariwal P. et al. Language Models are few-shot learners. *arXiv:2005.14165 [cs.CL]*. 2020. DOI: 10.48550/arxiv.2005.14165
18. Ruhaak A. *How data trusts can protect privacy*. 2021.
19. Shpak M. *Similarities and Differences between Wi-Fi 6 and 5G*. 2020. URL: <https://habr.com/ru/companies/huawei/articles/505042/> (rus.).
20. Khabarov R.S., Khomonenko A.D. Calculation of preemptive multi-server queueing systems with hyperexponential distributions of service times and busy period. *H&ES Research*. 2019; 11(5):48-56. DOI: 10.24411/2409-5419-2018-10287 (rus.).
21. Ponachugin A.V., Pichuzhkina D.Yu., Smealova E.S. Voice assistant as a data processing technology. *Science Without Borders*. 2020; 6(46):96-100. URL: <https://nauka-bez-granic.ru/No-6-46-2020/6-46-2020/> (rus.).
22. Abaeva A.V. Innovative technologies for the construction of buildings and structures: 3D printing. *Stolypin Annals*. 2022; 4(6). EDN NMQDNE. (rus.).
23. Kim H., Yang S., Rao S.R., Narayanan S., Kapustin E.A., Furukawa H. et al. Water harvesting from air with metal-organic frameworks powered by natural sunlight. *Science*. 2017; 356(6336):430-434. DOI: 10.1126/science.aam8743
24. Sochalin O. *"Delicious architecture" — in Japan, concrete was created from recycled food waste*. 2022. URL: https://www.architime.ru/news/institute_industrial_science_ut/edible_cement.htm#1.jpg (rus.).
25. Korneev K.A. Green hydrogen in east Asian countries. *Geoeconomics of Energetics*. 2021; 15(3):98-115. DOI: 10.48137/2687-0703_2021_15_3_98. EDN XDQKZK. (rus.).

26. Snider E., Dasenbrock-Gammon N., McBride R., Debessai M., Vindana H., Vencatasamy K. et al. RETRACTED ARTICLE: Room-temperature superconductivity in a carbonaceous sulfur hydride. *Nature*. 2020; 586(7829):373-377. DOI: 10.1038/s41586-020-2801-z

27. Singh J. This super-energy-dense battery could nearly double the range of electric vehicles. *MIT Technology Review*. 2020. URL: <https://www.technologyreview.com/2020/12/08/1013357/quantumscape-vw-lithium-metal-battery/>

28. Zhukova G.G., Saifulina A.I. Research on the use of self-healing concrete. *Construction and Geotechnics*. 2020; 11(4):58-68. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.4.05 (rus.).

29. Matrenin S.V., Mostovshchikov A.V., Mirovoy Y.A., Chudinova A.O. Research of structure and physical and mechanical properties of ceramics based on aluminum and zirconium oxynitrides. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2022; 333(2):184-192. DOI: 10.18799/24131830/2022/2/3569. EDN ZXMQQM. (rus.).

30. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE “VIAM” SSC of RF on realization of “strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030”. *Aviation Materials and Technologies*. 2015; 1(34):3-33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33. EDN TJEMOB. (rus.).

31. Kodzoev M.-B., Isachenko S. Light transmitting concrete. *Bulletin of Science and Practice*. 2018; 4(6):184-187. DOI: 10.5281/zenodo.1289841. EDN XQVWQP. (rus.).

32. Levitsky I.A., Shimanskaya A.N. Biocidal metallic glazes for porcelain floor tiles. *Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technology, biotechnology, geoecology*. 2018; 2(2):132-139 (rus.).

33. Noskov I.V., Noskov K.I., Tinenskaia S.V., Ananov S.A. Dron-technologies in construction — modern solutions and opportunities. *The Eurasian Scientific Journal*. 2020; 5. URL: <https://esj.today/PDF/37S AVN520.pdf> (rus.).

34. Krainev A.F. *Ideology of design*. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2003; 384. (rus.).

Received May 3, 2023.

Adopted in revised form on May 23, 2023.

Approved for publication on July 7, 2023.

B I O N O T E S : **Valeriy I. Telichenko** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, President; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 449402; President@mgsu.ru;

Azariy A. Lapidus — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technology and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 8192-2653, Scopus: 57192378750, ResearcherID: B-4104-2016, ORCID: 0000-0001-7846-5770; Lapidusaa@mgsu.ru;

Mikhail Yu. Slesarev — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 6464-2922, Scopus: 657608631, ResearcherID: B-3423-2016, ORCID: 0000-0003-4528-2817; Slesarev@mgsu.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.

Создание электронной базы нормативных наблюдений в условиях цифровизации в строительстве

Ирина Викторовна Каракозова^{1,2}, Илья Михайлович Лисицын²,
Константин Владимирович Болдышев³

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

² Государственное автономное учреждение города Москвы «Научно-исследовательский
аналитический центр» (ГАУ НИАЦ); г. Москва, Россия;

³ Управляющая компания «Большая Шатура»; г. Шатура, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В современных условиях производственное нормирование является основой для разработки сметных нормативов и показателей, используемых при расчете достоверных сметных затрат на строительство (реконструкцию, капитальный ремонт) объектов капитального строительства. Качество разработки первичных производственных норм, их состав, методология разработки, правила использования напрямую влияют на номенклатуру и степень детализации разрабатываемых сметных нормативов и показателей. Обоснованием сметных нормативов служат технологические карты, содержащие карты нормативных наблюдений, фотографии элементов процесса, иногда видеозапись процессов и др. Возникает необходимость проведения нескольких замеров на различных площадках для получения усредненных данных, в том числе за счет влияния человеческого фактора в установлении фиксированных точек и формировании карты рабочих операций, что создает возможность фальсификации данных. Целесообразно пересмотреть подходы к созданию массовой системы производственного нормирования государственного уровня при условии коренного изменения подходов к организации процесса сбора, анализа и хранения информации, в том числе с учетом развития строительной отрасли в условиях цифровизации.

Материалы и методы. Применены системный подход, общетеоретические методы познания (анализ, синтез, аналогия, обобщение, сопоставление) и др.

Результаты. Предложено использовать электронную базу нормативных наблюдений для повышения достоверности сметных расчетов в строительстве. Определены цели и принципы создания, а также структура электронной базы нормативных наблюдений. Рекомендована к разработке регистрационно-информационная карта объекта, содержащая всю информацию о создании, обработке, регистрации, хранении и передаче в пользование для целей нормирования.

Выводы. Внедрение предлагаемого подхода к созданию, ведению и сопровождению электронной базы нормативных наблюдений будет способствовать повышению достоверности сметных затрат в строительстве, а также минимизации трудовых и временных затрат на разработку сметных нормативов и показателей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: производственные нормы, нормативные наблюдения, нормирование, сметные нормативы, мониторинг, электронная база нормативных наблюдений, цифровизация

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Каракозова И.В., Лисицын И.М., Болдышев К.В. Создание электронной базы нормативных наблюдений в условиях цифровизации в строительстве // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 8. С. 1306–1317. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1306-1317

Автор, ответственный за переписку: Ирина Викторовна Каракозова, i.kar@inbox.ru.

Electronic database of regulatory observations as a tool of public administration in the context of digitalization in construction

Irina V. Karakozova^{1,2}, Ilya M. Lisitsyn², Konstantin V. Boldyshev³

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

² State Autonomous Institution of the City of Moscow "Research Analytical Center";
Moscow, Russian Federation;

³ Management Company "Bolshaya Shatura"; Shatura, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. In modern conditions, production rationing is the basis for the development of estimated standards and indicators, used respectively in the calculation of reliable estimated costs of construction (reconstruction, overhaul) of

capital construction objects. The quality of development of primary production standards, their composition, development methodology, rules of use directly affect the nomenclature and the degree of detail of the developed estimated standards and indicators. Justification of the estimated standards are technological maps containing maps of standard observations, photographs of process elements, sometimes video recording of processes, etc. There is a necessity to carry out several measurements at different sites to obtain averaged data, including due to the influence of the human factor in establishing fix points and forming a map of work operations, which creates the possibility of data falsification. It is expedient to revise approaches to the creation of a mass system of state-level production regulation, subject to a radical change in approaches to the organization of the process of collection, analysis and storage of information, including taking into account the development of the construction industry in the context of digitalization.

Materials and methods. System approach, general theoretical methods of cognition (analysis, synthesis, analogy, generalization, comparison and others) and others.

Results. It is proposed to use the electronic database of regulatory observations to improve the reliability of estimates in construction. The purposes and principles of creation, as well as the structure of the electronic base of normative observations, are determined. The registration and information map of the object is proposed for development, containing all information about the creation, processing, registration, storage and transfer for use for the purposes of regulation.

Conclusions. The introduction of the proposed approach to the creation, maintenance and maintenance of an electronic database of regulatory observations will help increase the reliability of estimated costs in construction, as well as minimize labour and time costs for the development of estimated standards and indicators.

KEYWORDS: production standards, regulatory observations, rationing, estimated standards, monitoring, electronic database of regulatory observations, digitalization

FOR CITATION: Karakozova I.V., Lisitsyn I.M., Boldyshev K.V. Electronic database of regulatory observations as a tool of public administration in the context of digitalization in construction. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1306-1317. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1306-1317 (rus.).

Corresponding author: Irina V. Karakozova, i.kar@inbox.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Ключевой задачей государственной системы ценообразования в строительстве является обслуживание массовых строительных программ. Результаты производственного нормирования рабочих операций и процессов обоснованно были приняты в качестве основы системы сметного нормирования как единственно доступная информация для проектирования сметных норм и расценок.

Нормирование заключается в хронометрировании рабочих операций и процессов в разбивке по фиксажным точкам. Требуется проведение ряда сопоставимых по результирующей продукции и составу бригад замеров для различных строительных площадок и организаций. Раздельно устанавливаются расходы материалов и изделий, затраты времени на эксплуатацию машин, затраты труда рабочих. Техническое нормирование состоит в сборе статистических данных по нормам строительных процессов и их усреднении.

Для выполнения работ по нормированию специально организовывались исследовательские площадки, на которых создавались условия, приближенные к реальным, и проводились замеры подготовленных процессов. Работа по техническому нормированию поддерживалась рядом институтов и организаций.

В настоящее время обоснованием сметных норм и расценок служат технологические карты, содержащие карты нормативных наблюдений, фотографии элементов процесса, иногда его видеозапись. При этом крайне затруднена организация выездов специалистов на производственные площадки по причине незаинтересованности организаций, которым принадлежат производственные

площадки, и несогласованности действий исполнителей по формированию целенаправленно организованных трудовых процессов. Требуется несколько замеров на различных площадках для получения усредненных данных. Проблема заключается в невозможности массовой фиксации процессов и актуализации норм. Данные замеров времени операций и процессов не поддаются восстановлению по причине влияния человеческого фактора в установлении фиксажных точек и формировании карты рабочих операций, что создает возможность фальсификации сведений.

Актуальность темы исследования обусловлена наличием отдельных проблем в создании массовой системы производственного нормирования государственного уровня при условии коренного изменения организации процесса сбора, анализа и хранения информации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Вопросами применения производственных норм в строительстве с целью планирования, формирования стоимости, обоснования выбора методов расчета производственных норм, создания баз данных, использования цифровых технологий для информационных систем интересовались как ученые, так и начинающие исследователи: И.А. Либерман [1], К.В. Антонов [2], В.Е. Базанов [3], А.Н. Савенков [4], О.Н. Кузина [5], А.С. Павлов [6], Н.В. Лазарева [7], Д.В. Топчий [8] и др.

При разработке новых и пересмотре действующих сметных норм и расценок ранее использовали единые нормы и расценки (ЕНиР) на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы, утвержденные Постановлением Госстроя

СССР от 05.12.1986 № 43/512/29-50¹, единые нормы времени на перевозку грузов автомобильным транспортом и сдельные расценки для оплаты труда водителей, утвержденные Постановлением Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам и Секретариата Всесоюзного центрального совета профессиональных союзов от 13.03.1987 № 153/6-142².

ЕНиР на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы разрабатывались специальными нормативными организациями и утверждались Госстроем СССР и Госкомитетом Совета Министров СССР по вопросам труда и заработной платы по согласованию с ВЦСПС для обязательного применения. ЕНиР охватывали около 65 % выполняемых строительно-монтажных работ (СМР). Около 20 %, преимущественно специальных видов работ, нормировались и оплачивались по ведомственным нормам и расценкам (ВНиР), утверждаемым соответствующими министерствами (ведомствами) по согласованию с отраслевым ЦК профсоюза. Примерно 15 % работ, из числа не охваченных ЕНиР и ВНиР, нормировались по местным нормам (МНиР), которые утверждались руководителями строительных организаций по согласованию с местными комитетами профсоюзов. Таким образом, выстраивалась иерархия норм и расценок в зависимости от их назначения, уровня применения и учета специфики выполнения отдельных видов работ.

На рис. 1 приведен фрагмент ЕНиР на примере таблицы Е7-9 «Сборка и навеска водосточных труб» сборника Е7 «Кровельные работы»³, исходя из кото-

рой можно получить представление о составе и полноте информации, приводимой в ЕНиР.

Формирование номенклатуры сборников ЕНиР, используемых практически до настоящего времени, проведено в конце 80-х гг. прошлого столетия. Срок действия утвержденных ЕНиР составлял пять лет, после чего их следовало пересматривать и при необходимости заменять на новые с целью отражения использования современной техники, организации и технологии строительного производства и др. Очевидны несостоятельность такого решения и последующее использование ЕНиР при нормировании в строительстве практически по настоящее время.

Основой нормирования расхода ресурсов в строительстве в период 1950–1990 гг. являлась иерархическая система нормативов, которая включала четыре уровня, их последовательность и содержание приведены в табл. 1 [1, 9, 10].

При выпуске строительной продукции создается сложная система организации управления производством, в составе которой имеют место такие подсистемы, как производственная, организационная и управляющая информационная. Соответственно за сбор, хранение и обработку данных, получаемых в процессе строительного производства, отвечает управленческая информационная подсистема.

Однако проблема заключается в том, что формированием некой информационной базы данных (БД) о сроках, ресурсах, технологиях и др., получаемых в процессе строительного производства и используемых в дальнейшем при планировании и анализе затрат, строительные организации либо

§ Е7-9. Сборка и навеска водосточных труб				
Состав работы				
1. Установка ухватов со сверлением отверстий электродрелью и забивкой в них пробок. 2. Сборка и навеска по установленным ухватам водосточных труб (в том числе прямых звеньев труб, колен, отводов, воронок с лотками). 3. Крепление труб к ухватам.				
Кровельщик: 4 разр.				
Нормы времени и расценки на 1 м труб				
Наименование работ	Способ выполнения работ			№
	с готовых подмостей	с монтажных навесных люлек	с подвесных люлек	
Сборка и навеска водосточных труб по готовым ухватам	0,1	0,14	0,2	1
Установка ухватов по стенам из кирпича или легкого бетона	0-07,9 0,23 0-18,2	0-11,1 0,26 0-20,5	0-15,8 0,47 0-37,1	2
	а	б	в	№
Примечание. При работе с подвесных люлек нормами учтена вертикальная передвижка люлек. Горизонтальная передвижка люлек нормами не учтена и нормируется по сб. Е8-1 "Отделочные работы".				

Рис. 1. Фрагмент таблицы ЕНиР на примере Е7-9 «Сборка и навеска водосточных труб»

Fig. 1. Fragment of the ENiR table using the example of Е7-9 “Assembly and attachment of downpipes”

¹ Об утверждении единых норм и расценок на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы (ЕНиР) : Постановление Государственного строительного комитета СССР, Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам, Секретариата Всесоюзного центрального совета профессиональных союзов от 05.12.1986 № 43/512/29-50.

² Об утверждении единых норм времени на перевозку грузов автомобильным транспортом и сдельных расценок для оплаты труда водителей : Постановление Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам и Секретариата Всесоюзного центрального совета профессиональных союзов от 13.03.1987 № 153/6-142.

³ ЕНиР Сборник Е7 «Кровельные работы» : утв. Постановлением Государственного строительного комитета СССР, Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам, Секретариата Всесоюзного центрального совета профессиональных союзов от 05.12.1986 № 43/512/29-50.

Табл. 1. Уровни нормирования расхода ресурсов в строительстве
Table 1. Levels of rationing of resource consumption in construction

Уровень нормирования Normalization level	Состав норм и показателей Composition of norms and indicators	Методология Methodology	Назначение Purpose
Производственные нормы расхода ресурсов Production rates of resource consumption	Общие производственные нормы расхода материалов в строительстве (ОПНРМС). ЕНиР. ВНиР и др. General production norms for the consumption of materials in construction (OPNRMS). Uniform norms and prices (ENiR). Departmental norms and prices (VNiR), etc.	Методы технического нормирования Methods of technical regulation	Внутрифирменный контроль и учет Intracompany control and accounting
Элементные сметные нормы и расценки, показатели расхода ресурсов Elemental estimated norms and prices, indicators of resource consumption	Нормативные показатели расхода материалов (НПРМ). Показатели на отдельные виды работ (ПВР). Элементные сметные нормы (ЭСН, ГЭСН). Единичные расценки на отдельные виды работ (ЕРЕР, СНиР, ФЕР, ТЕР и др.) Normative indicators of consumption of materials (NPRM). Indicators for certain types of work (PWR). Elemental estimated norms (ESN, GESN). Unit rates for certain types of work (ERER, SNiR, FER, TER, etc.)	Методы сметного нормирования, калькулирование производственных норм Estimated rationing methods, costing production standards	Разработка сметной документации Estimate documentation development
Укрупненные нормы расхода ресурсов и показатели стоимости Aggregated resource consumption rates and cost indicators	Укрупненные показатели базисной стоимости строительства зданий и сооружений (УПБС) и видов работ (УПБС ВР) и др. Aggregated indicators of the basic cost of construction of buildings and structures (UPBS) and types of work (UPBS VP), etc.	Агрегирование элементных сметных норм Aggregation of elemental estimated standards	Разработка сметной документации Estimate documentation development
Сводные показатели потребности в ресурсах Summary indicators of resource requirements	Нормы потребности в строительных машинах (СН 494–77). Нормы расхода материалов, изделий и труб на 1 млн руб. сметной стоимости строительно-монтажных работ (СНиП 5.01.01–82). Прейскуранты на виды строительства. Удельные показатели стоимости строительства. Объекты-аналоги и др. Standards for the need for construction vehicles (SN 494–77); Consumption rates of materials, products and pipes per 1 million rubles. estimated cost of construction and installation works SNiP 5.01.01–82); Price lists for types of construction; Specific cost indicators construction. Objects-analogues, etc.	Усреднение фактических (сметных) показателей по объектам-представителям Averaging actual (estimated) indicators for representative objects	Планирование инвестиций по объектам, организациям, регионам и др. Planning investments by objects, organizations, regions, etc.

не занимаются, либо занимаются только в рамках финансового учета. Такое положение дел сказывается и на качестве организационно-технологической документации [8]. Кроме того, сеть специализированных организаций, в компетенцию которых входят вопросы сбора, обработки и анализа информации для целей нормирования в строительстве, в настоящее время отсутствует, имеют место отдельные компании с опытом работы в указанной области. При этом в Республике Беларусь, например, ОАО «НИИ Стройэкономика» осуществляет постоянный мониторинг фактических затрат труда в крупных строительных организациях, что позволяет содержать сборники норм затрат труда в актуальном состоянии [3].

В связи с вступлением в силу Постановления Правительства РФ от 13.06.2020 № 857⁴ ЕНиР и ВНиР подлежат отмене и более не имеют юридической силы для применения при разработке новых и пересмотре действующих сметных норм и расценок территориальной сметно-нормативной базы для г. Москвы ТСН-2001. Таким образом, перестает существовать легитимная основа для применения заранее подготовленных производственных норм для формирования сметных норм, что критическим образом может сказаться на оперативности выполнения работ по разработке и пересмотру сметных норм.

В отечественной практике разработана уникальная система проектирования производственных норм, их анализа и оптимизации. Основой для разработки технически обоснованных производственных норм в строительстве являются специальные нормативные наблюдения.

Для проведения нормативных наблюдений (хронометраж) необходим объект, где в процессе наблюдения и фиксации производственных данных разрабатывается технологическая карта, используемая впоследствии в качестве базы для разработки калькуляции сметных ресурсов [11, 12]. Технологическая карта включает все виды работ и операций, а также используемые материально-технические ресурсы. В ней также приводится подсчет объемов работ на измеритель сметной нормы, график производства работ и указания по технике безопасности.

С конца 1980-х гг. произошла утеря комплексного мониторинга производственной информации и почти невозможен сбор экономических и финансовых показателей деятельности строительных организаций. Самая большая потеря — это лишение сети организаций и коллективов, осуществлявших производственные наблюдения и подчинявшихся единому центру. Процесс разработки норм весьма трудоемок, организационно сложен и затягивается за счет бюрократических процедур согласования. Это

одна из главных проблем насыщения базы нормативов и актуализации существующих норм. Требуются организация и управление источниками первичной производственной (стоимостной) информации.

В настоящее время разработка новых нормативов производственного характера методами технического нормирования, отражающих уровень научно-технического прогресса и применение в строительстве новых технологий, материалов и механизмов, может выполняться только для фирменного (корпоративного) управления в подрядном строительстве. Имеющийся дефицит производственных норм на современные строительные процессы, ограниченный доступ к информационным ресурсам подрядных организаций, а следовательно, практическая невозможность массовой централизованной разработки производственных норм требуют поиска и внедрения в практику новых организационно-технических и научно-методических решений, формирования современных правил, методик и приемов нормирования производственных процессов. Согласно труду [3] *«ликвидация централизованного воздействия на деятельность предприятия по нормированию труда привела к игнорированию нормирования труда на предприятиях и фактическому прекращению разработки нормативов трудовых затрат, соответствующих современному развитию строительных технологий»*.

Сроки разработки новых нормативов без использования базы нормативных наблюдений [4] могут значительно увеличиваться, что негативно скажется в целом на процессе нормирования и внедрения новых технологий.

Итак, целесообразно создать единую электронную базу нормативных наблюдений, используемую на всех уровнях (федеральном, территориальном, отраслевом).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Производственные нормы расхода ресурсов, созданные методами технического нормирования и представленные в ранее действующих сборниках ЕНиР, ВНиР, разработаны строительными министерствами и ведомствами СССР в 1982–1990 гг. Эти данные являются последними разработанными и опубликованными производственными нормами административно-командной системы управления экономикой. В существующем объеме, составе и структуре производственные нормы не разрабатывались с 1990 г.

При разработке комплекса нормативных показателей оценки стоимости различного уровня укрупнения фактически используются модели данных, содержащие информацию по параметрам тех-

⁴ О признании не действующими на территории Российской Федерации актов и отдельных положений актов, изданных центральными органами государственного управления РСФСР и СССР, а также об отмене акта федерального органа исполнительной власти Российской Федерации : Постановление Правительства Российской Федерации от 13.06.2020 № 857.

нологического процесса (состав работ, расход ресурсов, время работы и проч.), в результате которого формируется строительная продукция. В табл. 2 приведены группы факторов и их краткое описание, оказывающие влияние на организацию работ по проведению нормативных наблюдений.

Таким образом, представляется трудоемкой разработка сметных норм и расценок какого-либо уровня укрупнения без наличия показателей более низкого уровня.

Важнейшим элементом создания современной государственной системы производственного нормирования является установление и накопление первичных производственных норм.

Получить в достаточном для анализа объеме исходную информацию о фактических затратах и расходе ресурсов при выполнении строительных, ремонтных и других работ возможно только в подрядных организациях. В этих условиях ключевой организационно-методической задачей становится

Табл. 2. Причины и факторы, создающие трудности в организации работ по проведению наблюдений и установлению норм
Table 2. Causes and factors creating difficulties in the organization of work on conducting observations and setting standards

Группы факторов Group of factors	Описание Description
Организационные Organizational	Потеря сети специализированных организаций, занимающихся вопросами технического нормирования. В настоящее время малым и средним строительным организациям достаточно сложно заниматься техническим нормированием при отсутствии научного руководства этого направления деятельности, координации работ и тесного взаимодействия между собой Loss of the network of specialized organizations dealing with issues of technical regulation. At present, it is rather difficult for small and medium-sized construction organizations to engage in technical regulation in the absence of scientific guidance in this area of activity, coordination of work and close interaction with each other
Экономические Economic	Производственное нормирование является весьма ресурсоемким и наукоемким процессом, в связи с чем требуется значительное финансирование работ по разработке норм труда и расхода используемых материально-технических ресурсов Production rationing is a very resource-intensive and knowledge-intensive process, and therefore requires significant funding for the development of labour standards and the consumption of material and technical resources used
Социальные Social	В настоящее время отсутствует массовая подготовка специалистов, знакомых с научными методами технического нормирования труда. Как правило, таких специалистов готовят уже на местах, т.е. в специализированных организациях в процессе трудовой деятельности At present, there is no mass training of specialists familiar with the scientific methods of technical labour regulation. As a rule, such specialists are already trained on the spot, i.e. in specialized organizations in the course of employment.
Идеологические Ideological	Внедрение зарубежной идеологии менеджмента и управления проектами не учитывает специфические особенности отечественного опыта нормирования, устоявшиеся положительные практики работы, менталитет и связи профессионального сообщества The introduction of foreign ideology of management and project management does not take into account the specific features of the domestic experience of standardization, well-established positive work practices, the mentality and connections of the professional community
Технологические Technological	Требуется внедрение современных технических средств фиксации и контроля производственных процессов, разработка программного обеспечения для применения баз данных с целью хранения и передачи информации It requires the introduction and development of modern technical means of fixing and controlling production processes, the development of software for the use of databases for the purpose of storing and transmitting information
Законодательные Legislative	Для определения начальной максимальной цены контракта используются исключительно сметные нормы и расценки. В настоящее время законодательно не закреплён порядок расчета за выполненные работы, а также требования по нормированию труда и расхода ресурсов на уровне подрядных организаций To determine the initial maximum price of the contract, only estimated norms and prices are used. At present, the procedure for calculating for the work performed, as well as the requirements for the rationing of labour and resource consumption at the level of contractors, are not fixed by law
Методологические Methodological	В большинстве документов в области нормирования не определены методические подходы к расчету норм расхода ресурсов. Значительная часть документов ориентирована на создание общих правил или содержит предложения по использованию ранее разработанных производственных нормативов In most documents in the field of rationing, methodological approaches to the calculation of resource consumption rates are not defined. A significant part of the documents is focused on the creation of general rules or contains proposals for the use of previously developed production standards

сохранение имеющейся информации и создание системы ее актуализации и наполнения новыми сведениями [13–18].

Анализ порядка выполнения нормативных наблюдений, формирования норм, структуры и состава отдельных глав/сборников в действующих сметных нормативах, зарубежного опыта, подходов к созданию и использованию систем классификации и кодирования видов работ показал отсутствие [1, 5, 6, 9, 19–24]:

- единых требований к достаточности первичной производственной информации;
- единого подхода к классификации и кодированию первичной производственной информации на государственном и территориальном уровнях;
- на федеральном и территориальном уровнях актуальных специализированных сборников производственных норм;
- методик формирования базы производственной информации.

Для организации разработки современной системы сметных нормативов расхода трудовых и материально-технических ресурсов, например, требуются:

- применение комбинации методов технического нормирования в зависимости от ситуации и доступности информационных ресурсов;
- создание систем классификации различного назначения;

- разработка системы форм записи и хранения первичной информации для организации документального закрепления описаний технологических процессов;

- формирование архива фото- и видеосъемки технологических процессов;

- создание архива ранее действовавших производственных норм (ЕНиР), технологических карт, проектов производства работ, ТУ, ГОСТ, карт нормативных наблюдений, таблиц вывода норм, калькуляций;

- организация архива проектной документации, в том числе отдельного раздела, содержащего сметную документацию, по объектам, прошедшим государственную экспертизу.

Проект структуры, предлагаемой к созданию электронной базы нормативных наблюдений в строительстве, приведен на рис. 2.

Цель создания такой базы заключается в формировании структурированных данных, используемых при нормировании в строительстве, в том числе в процессе разработки сметных нормативов для формирования достоверной сметной стоимости строительства объектов капитального строительства.

К принципам создания электронной базы нормативных наблюдений в строительстве следует отнести научность, системный подход, непрерывность, актуальность, достоверность, прогрессивность, информативность, наглядность, прозрачность процессов

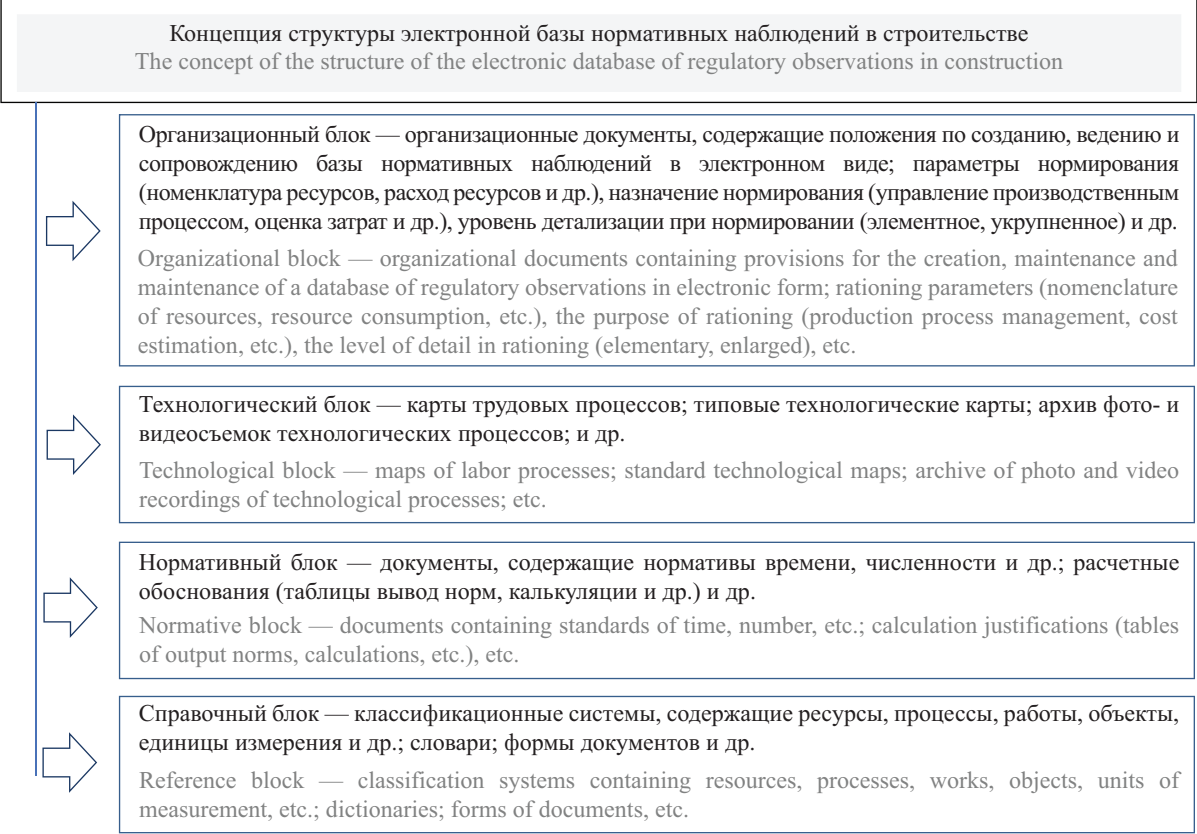


Рис. 2. Проект структуры электронной базы нормативных наблюдений в строительстве

Fig. 2. Draft structure of the electronic database of regulatory observations in construction

сбора и обработки информации, непротиворечивость и объективность приводимых данных, минимизацию влияния человеческого фактора на обеспечение достоверности получаемых результатов.

Итогом такого создания будет формирование базовой нормативной основы для целей нормирования, а также удобное хранение, использование, актуализация и удаление имеющейся информации.

Для организации процесса сбора, обработки и хранения результатов нормативных наблюдений в настоящее время потребуется взаимодействие следующих участников:

- органов исполнительной власти, в полномочия которых входят вопросы нормирования и ценообразования в строительстве;
- специализированных организаций, одним из основных видов деятельности которых является разработка нормативов и показателей для строительной отрасли;
- строительных организаций, непосредственно участвующих в проведении нормативных наблюдений, поскольку они предоставляют объекты для их проведения.

В процессе ведения и сопровождения базы нормативных наблюдений целесообразно для каждого объекта БД, по отношению к которому хранятся сведения (документ, процесс и др.), создать регистрационно-информационную карту, структура и содержание которой может включать:

- номер и дату составления регистрационно-информационной карты;
- полное и сокращенное наименование объекта (документ, карта, калькуляция и др.);
- дату регистрации (актуализации, удаления) объекта;
- код тематической рубрики (указываются коды, разрабатываемые в соответствии с принятой

номенклатурой при формировании базы нормативных наблюдений);

- объем объекта;
- информацию о заказчике (при наличии);
- сведения об исполнителе (при наличии);
- источник финансирования (при наличии и необходимости);
- ключевые слова;
- краткое описание объекта (в зависимости от объекта возможно включить такие данные, как дата разработки/утверждения, информация о введении в действие, область применения, условия применения и др.);
- особые условия использования объекта и др.

Одновременно с разработкой регистрационно-информационной карты объекта БД следует разработать требования по ее ведению в соответствии с целями создания базы нормативных наблюдений.

На рис. 3 показан примерный жизненный цикл объекта БД, включающий создание объекта, процесс сбора, обработки, регистрации и хранения объекта, а также последующее его использование для целей нормирования в строительстве.

Основные цели формирования такой базы нормативных наблюдений направлены на:

- повышение скорости и качества разработки сметных нормативов и показателей за счет создания большой статистической БД;
- повышение уровня автоматизации разработки сметных нормативов и показателей;
- проведение анализа существующих и разрабатываемых сметных нормативов и показателей;
- создание основы для подготовки данных при проведении новых нормативных наблюдений;
- создание основы для формирования базы типовых норм.



Рис. 3. Цикл объекта от его создания до хранения и передачи в пользование

Fig. 3. The cycle of an object from its creation to storage and transfer to use

Таким образом, создание электронной базы нормативных наблюдений позволит сделать процесс разработки сметных нормативов и показателей удобным для всех пользователей базы, а также удовлетворяющим спрос пользователей на необходимую информацию, используемую в процессе разработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках настоящего исследования под электронной базой нормативных наблюдений, предлагаемой к разработке, следует понимать совокупность данных, используемую профессиональным сообществом для нормирования в строительстве. Основная

задача такой базы заключается в хранении всей информации, представляющей интерес в обозначенной области. При этом база не должна содержать избыточную и противоречивую информацию, должна способствовать быстрому поиску необходимых сведений, быть доступной и содержательной.

Кроме того, производственное нормирование является основой для разработки сметных нормативов и показателей, соответственно качество разработки первичных производственных норм напрямую влияет на расчет достоверных сметных затрат на строительство (реконструкцию, капитальный ремонт) объектов капитального строительства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Либерман И.А.* Техническое нормирование, оплата труда и проектно-сметное дело в строительстве. М. : Инфра-М, 2014. 400 с.
2. *Антонов К.В., Мельник А.А.* К вопросу об актуализации нормативной базы строительства // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2015. № 3 (113). С. 15–17. EDN DAGEEK.
3. *Базанов В.Е.* О нормах затрат труда при составлении графиков производства работ в современных условиях // Строительное производство. 2019. № 1. С. 37–39. DOI: 10.54950/26585340_2019_1_37 EDN VYYYGA.
4. *Савенков А.Н.* Методические подходы к развитию технического нормирования в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 7. С. 51–57. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.07.51-57 EDN FTEEXA.
5. *Кузина О.Н., Щедрина Л.Е., Мезенцева О.А.* Классификатор цифровых технологий производства строительных работ // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования : сб. докл. Первой Национ. конф. 2020. С. 954–959. EDN HDKJYC.
6. *Каракозова И.В., Павлов А.С., Ефименко А.З., Долганов А.И.* Классификация и кодификация материально-технических ресурсов для нужд строительства // Научное обозрение. 2015. № 14. С. 362–365. EDN UMLSTT.
7. *Лазарева Н.В.* Цифровизация учета обязательств в строительстве // Экономика. Управление. Образование. 2019. № 2 (9). С. 36–40. EDN UIJJBG.
8. *Топчий Д.В., Катасонова М.А., Юргайтис А.Ю.* Техническое нормирование современных методов ведения строительных работ при реконструкции, перепрофилировании и технологическом перевооружении зданий и сооружений // Инновации и инвестиции. 2019. № 6. С. 281–285. EDN SKOCBD.
9. *Каракозова И.В., Лисицын И.М.* Особенности отечественного опыта разработки и применения производственных и сметных норм в строительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2019. № 4. С. 104–109. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-4-104-109. EDN BPAIGF.
10. *Кожеевникова Е.О., Букалова А.Ю.* Нормирование труда в строительстве в условиях современного производства // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2019. Т. 1. С. 149–155. EDN VCXUYU.
11. *Сафонов В.А., Устинов Р.В.* Современные особенности нормирования труда в строительстве // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования : VII Всерос. науч.-практ. конф. ФГБОУ ВПО «СибАДИ» с междунар. участием. 2012. С. 105–108. EDN WCSRPR.
12. *Калюжнюк М.М., Калюжнюк А.В.* Упорядочение рабочих операций простых технологических процессов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 7 (25). С. 87–99. EDN OIYPUN.
13. *Иванова А.К., Куленцан А.Л.* Базы данных. Системы управления базами данных // Проблемы экономики, финансов и управления производством : сб. науч. тр. вузов России. 2023. № 52. С. 110–114. EDN GVIXFD.
14. *Кашипов Р.З.* Влияние автоматизации и цифровизации на развитие системы нормирования труда // Экономика. Наука. Бизнес : сб. науч. тр. II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2021. С. 223–230. EDN HTVVCL.
15. *Фаткуллин Р.В., Кислицын Е.В.* Исследование эффективности использования графовых баз данных для анализа больших данных // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13. № 1. С. 123–142. DOI: 10.21869/2223-1536-2023-13-1-171-190 EDN JBPVPY.
16. *Волхонский А.Н.* Модели данных при проектировании баз данных автоматизированных си-

стем // Международный студенческий научный вестник. 2021. № 6. С. 38. EDN YEMXQY.

17. Эмирасанов Ю.С. Математическая статистика как инструмент нормирования основных производственных операций в области строительства скважин // Рациональная разработка месторождений нефти и газа: опыт, тенденции развития, потенциал : тез. докл. Междунар. науч.-практ. онлайн-конф. 2022. С. 14–15. EDN RVXCWR.

18. Bobrova T.V., Panchenko P.M. Technical normalization of working processes in construction based on spatial-temporal modeling // Magazine of Civil Engineering. 2017. № 8 (76). С. 84–97. DOI: 10.18720/MCE.76.8 EDN YSTEDF.

19. Ступникова Е.А., Шаталова Е.П. Анализ состояния технического нормирования в строительстве в России и за рубежом // Транспортное дело России. 2016. № 1. С. 100–103. EDN VUDRRV.

20. Абаканов Ж. Совершенствование системы нормирования затрат для разработки сметных норм в Республике Казахстан // Инженерный бизнес : сб. мат. II Междунар. науч.-практ. конф. в рамках 19-й Междунар. науч.-техн. конф. БНТУ «Наука —

образованию, производству и экономике». 2022. С. 7–13. EDN RWVLQN.

21. Корчагин А.П. Пути совершенствования процесса разработки сметных нормативов в строительстве // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2020. № 2 (54). С. 224–231. EDN NQBOYM.

22. Келасьев Н.Г., Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Терехов И.А., Шмаков С.Д., Чаганов А.Б. Условные обозначения (маркировка) строительных материалов и конструкций для информационного использования на всех этапах жизненного цикла // Academia. Архитектура и строительство. 2020. № 3. С. 124–130. DOI: 10.22337/2077-9038-2020-3-124-130 EDN COVHSC.

23. Каракозова И.В., Кисель Т.Н., Прохорова Ю.С. Инновации в строительстве в условиях развития цифровой экономики // Сметно-договорная работа в строительстве. 2022. № 4. С. 29–35. DOI: 10.33920/str-01-2204-04 EDN QANXEC.

24. Da Silva N.F., Leite J.C. MOST as a tool to support the deployment of new manufacturing products // International Journal of Advanced Engineering Research and Science. 2019. Vol. 6. Issue 4. Pp. 337–350. DOI: 10.22161/ijaers.6.4.40

Поступила в редакцию 7 июля 2023 г.

Принята в доработанном виде 14 июля 2023 г.

Одобрена для публикации 14 июля 2023 г.

Об авторах: **Ирина Викторовна Каракозова** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры менеджмента и инновации; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; заместитель начальника управления разработки и актуализации нормативно-методической документации; **Государственное автономное учреждение города Москвы «Научно-исследовательский аналитический центр» (ГАУ «НИАЦ»)**; 125047, г. Москва, ул. 1-я Брестская, д. 27; РИНЦ ID: 655795, Scopus: 57190864252, ResearcherID: AAD-4118-2022, ORCID: 0000-0002-7913-919X; i.kar@inbox.ru;

Илья Михайлович Лисицын — кандидат технических наук, начальник управления информатизации и координации баз данных территориальных сметных нормативов; **Государственное автономное учреждение города Москвы «Научно-исследовательский аналитический центр» (ГАУ «НИАЦ»)**; 125047, г. Москва, ул. 1-я Брестская, д. 27; limmoscow@mail.ru;

Константин Владимирович Болдышев — заместитель генерального директора; **Управляющая компания «Большая Шатура»**; 140700, Московская область, г. Шатура, ул. Савушкина, д. 3; BoldyshevKV@mosreg.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Lieberman I.A. *Technical rationing, wages and design estimates in construction*. Moscow, Infra-M Publ., 2014; 400. (rus.).

2. Antonov K.V., Melnik A.A. To the problem of construction regulatory framework's actualization. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2015; 3(113):15-17. EDN DAGEEK. (rus.).

3. Bazanov V. On labor cost rates in drafting schedules of work in the current context. *Construction Production*. 2019; 1:37-39. DOI: 10.54950/26585340_2019_1_37 EDN VYYYGA. (rus.).

4. Savenkov A.N. Methodological approaches to the development of technical regulation in construction. *Industrial and Civil Engineering*. 2021; 7:57-57. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.07.51-57 EDN FTEEXA. (rus.).

5. Kuzina O.N., Shchedrina L.E., Mezentseva O.A. Classification of digital technologies for the production of construction works. *Actual problems of the construction industry and education : collection of reports of the First National Conference*. 2020; 954-959. EDN HDKJYC. (rus.).

6. Karakozova I.V., Pavlov A.S., Efimenko A.Z., Dolganov A.I. Classification and codification of material-technical resources for construction needs. *Scientific Review*. 2015; 14:362-365. EDN UMLSTT. (rus.).

7. Lazareva N.V. Digitalization of accounting for obligations in construction. *Economics. Control. Education*. 2019; 2(9):36-40. EDN UIJJBG. (rus.).

8. Topchiy D.V., Katasonova M.A., Yurgaitis A.Yu. Technical standardization of modern methods of conducting construction work during reconstruction, reprofiling and technological re-equipment of buildings and structures. *Innovations and Investments*. 2019; 6:281-285. EDN SKOCBD. (rus.).

9. Karakozova I.V., Lisitsyn I.M. Features of domestic experience in the development and application of production and estimated standards in construction. *Academia. Architecture and Construction*. 2019; 4: 104-109. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-4-104-109 EDN BPAIGF. (rus.).

10. Kozhevnikova E.O., Bukalova A.U. Rationing of labor in construction in the conditions of modern production. *Modern technologies in construction. Theory and practice*. 2019; 1:149-155. EDN VCXUYU. (rus.).

11. Safonov V.A., Ustinov R.V. Modern features of labor rationing in construction. *Development of the road transport complex and construction infrastructure based on rational environmental management : VII All-Russian Scientific and Practical Conference of FGBOU VPO "SibADI" with international participation*. 2012; 105-108. EDN WCSRPR. (rus.).

12. Kalyuzhnyuk M.M., Kalyuzhnyuk A.V. Streamlining the working operations of simple technological processes in construction. *Engineering and Construction Journal*. 2011; 7:87-99. EDN OIYPUN. (rus.).

13. Ivanova A.K., Kulentsan A.L. Databases. Database management systems. *Problems of Economics, Finance and Production Management : collection of scientific papers of Russian universities*. 2023; 52:110-114. EDN GVIXFD. (rus.).

14. Kashapov R.Z. Automation and digitalization impact on the development of the labor rationing system. *Economics. The science. Business : collection of scientific papers of the II All-Russian scientific and practical conference with international participation*. 2021; 223-230. EDN HTVVCL. (rus.).

15. Fatkullin R.V., Kislitsyn E.V. Investigation of the Effectiveness of Usage of Graph Databases for

Big Data Analysis. *Proceedings of the Southwest State University. Series: IT Management, Computer Science, Computer Engineering. Medical Equipment Engineering*. 2023; 13(1):123-142. DOI: 10.21869/2223-1536-2023-13-1-171-190 EDN JBPVPY. (rus.).

16. Volkhonskiy A.N. Data models in the design of databases of automated systems. *International Student Scientific Bulletin*. 2021; 6:38. EDN YEMXQY. (rus.).

17. Emirasanov Yu.S. Mathematical statistics as a tool for standardizing the main production operations in the field of well construction. *Rational development of oil and gas fields: experience, development trends, potential : abstracts of reports of the international scientific and practical online conference*. 2022; 14-15. EDN RVXCWR. (rus.).

18. Bobrova T.V., Panchenko P.M. Technical normalization of working processes in construction based on spatial-temporal modeling. *Magazine of Civil Engineering*. 2017; 8(76):84-97. DOI: 10.18720/MCE.76.8 EDN YSTEDF. (rus.).

19. Stupnikova E., Shatalova E. Analysis of the technical state of standardization in construction in Russia and abroad. *Transport business of Russia*. 2016; 1:100-103. EDN VUDRRV. (rus.).

20. Abakanov Zh. Improvement of the cost rating system for the development of estimate rates in the republic of Kazakhstan. *Engineering business : collection of materials of the II International scientific and practical conference within the framework of the 19th International scientific and technical conference of BNTU "Science — education, production and economy"*. 2022; 7-13. EDN RWVLQN. (rus.).

21. Korchagin A. Ways to improve the development process estimated standards in construction. *Proceedings of the Kyrgyz State Technical University. I. Razzakova*. 2020; 2(54):224-231. EDN NQBOYM. (rus.).

22. Kelasiev N.G., Kodysh E.N., Trekin N.N., Terekhov I.A., Shmakov S.D., Chaganov A.B. Conventions (marking) of construction materials and structures for information use at all stages of the life cycle. *Academia. Architecture and Construction*. 2020; 3:124-130. DOI: 10.22337/2077-9038-2020-3-124-130 EDN COVHSC. (rus.).

23. Karakozova I.V., Kisel T.N., Prokhorova Y.S. Innovation in construction in the conditions of development of a digital economy. *Estimate and Contractual Work in Construction*. 2022; 4:29-35. DOI: 10.33920/str-01-2204-04 EDN QANXEC. (rus.).

24. Da Silva N.F., Leite J.C. MOST as a tool to Support the Deployment of New Manufacturing Products. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*. 2019; 6(4):337-350. DOI: 10.22161/ijaers.6.4.40

Received July 7, 2023.

Adopted in revised form on July 14, 2023.

Approved for publication on July 14, 2023.

B I O N O T E S: **Irina V. Karakozova** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management and Innovation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Deputy Head of the Department for Development and Updating of Regulatory and Methodological Documentation; **State Autonomous Institution of the City of Moscow “Research Analytical Center”**; 27 1nd Brestskaya st., Moscow, 125047, Russian Federation; ID RSCI: 655795, 57190864252, ResearcherID: AAD-4118-2022, ORCID: 0000-0002-7913-919X; i.kar@inbox.ru;

Ilya M. Lisitsyn — Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Informatization and Coordination of Databases of Territorial Estimated Standards; **State Autonomous Institution of the City of Moscow “Research Analytical Center”**; 27 1nd Brestskaya st., Moscow, 125047, Russian Federation; LisitsynIM@str.mos.ru;

Konstantin V. Boldyshev — Deputy General Director; **Management company “Bolshaya Shatura”**; 3 Savushkina st., Moscow region, Shatura, 140700, Russian Federation; BoldyshevKV@mosreg.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.*

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Текст статьи набирается в файлах в формате .docx.

СТРУКТУРА НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья должна состоять из следующих структурных элементов: заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, основной текст, сведения об авторах, список источников.

Заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, список источников указываются последовательно на русском и английском языках.

Заголовок к статье должен соответствовать основному содержанию статьи. Заголовок статьи должен кратко (не более 10 слов) и точно отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. Он должен быть информативным и отражать уникальность научного творчества автора.

Список авторов в краткой форме отражает всех авторов статьи и указывается в следующем формате:

Имя Отчество Фамилия¹, Имя Отчество Фамилия²

¹ Место работы первого автора; город, страна

² Место работы второго автора; город, страна

**если авторов не более четырех, то необходимо указывать полные ФИО, от пяти авторов и более – допустимо использовать инициал*

АННОТАЦИЯ

Основной принцип создания аннотации — информативность. Объем аннотации — от 200 до 250 слов.

Структура и содержание аннотации должны соответствовать структуре и содержанию основного текста статьи.

Аннотация к статье должна представлять краткую характеристику научной статьи. Задача аннотации — дать возможность читателю установить ее основное содержание, определить ее релевантность и решить, следует ли обращаться к полному тексту статьи.

Четкое структурирование аннотации позволяет не упустить основные элементы статьи. Структура аннотации аналогична структуре научной статьи и содержит следующие основные разделы:

- **Введение** — содержит описание предмета, целей и задач исследования, актуальность.
- **Материалы и методы** (или методология проведения работы) — описание использованных в исследовании информационных материалов, научных методов или методики проведения исследования
- **Результаты** — приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Предпочтение отдается новым результатам и выводам, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.
- **Выводы** — четкое изложение выводов, которые могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, описанными в статье.
- **Ключевые слова** — перечисляются через запятую, количество — от 7 до 10 слов.

Благодарности. Краткое выражение благодарности персонам и/или организациям, которые оказали помощь в выполнении исследования или высказывали критические замечания в адрес вашей статьи. Также в разделе указывается источники финансирования исследования от организаций и фондов организациям и фондам, т.е. за счет каких грантов, контрактов, стипендий удалось провести исследование. Раздел приводится при необходимости.

Аннотация не должна содержать:

- избыточных вводных фраз («Автор статьи рассматривает...», «В данной статье...» и т.д.);
- абстрактного указания на время написания статьи («В настоящее время...», «На данный момент...», «На сегодняшний день...» и т.д.);
- общего описания;
- цитат, таблиц, диаграмм, аббревиатур;
- ссылок на источники литературы;
- информацию, которой нет в статье.

Англоязычная аннотация пишется по тем же правилам. Отметим, что английская аннотация не обязательно должна быть точным переводом русской.

Следует обращать особое внимание на корректность употребления терминов. Избегайте употребления терминов, являющихся прямой калькой русскоязычных. Необходимо соблюдать единство терминологии в пределах аннотации.

Ключевые слова – прообраз статьи в поисковых системах, те точки, по которым читатель может найти вашу статью и определить предметную область текста. Чтобы определить основные ключевые слова для статьи, рекомендуется представить, по каким поисковым запросам читатели могут искать вашу статью. Как правило, ключевые слова также могут включать основную терминологию.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ

Основной текст научной статьи, представляемой в журнал, должен быть оформлен в соответствии со стандартом IMRaD и включать следующие разделы:

- Введение;
- Материалы и методы;
- Результаты исследования;
- Заключение и обсуждение.

РИСУНКИ И ТАБЛИЦЫ

Рисунки и таблицы следует вставлять в текст статьи сразу после того абзаца, в котором рисунок впервые упоминается. Рисунки и таблицы должны быть оригинальными (либо с указанием источника), хорошего качества (не менее 300 dpi). Оригиналы рисунков предоставляются в файлах формата .jpg, .tiff (название файла должны соответствовать порядковому номеру рисунка в тексте). Размер шрифта должен соответствовать размеру шрифта основного текста статьи. Линии обязательно не тоньше 0,25 пунктов.

Заголовки таблиц и рисунков выравниваются по левому краю. Заголовок таблицы располагается над ней, начинаясь с сокращения «Табл.» и порядкового номера таблицы, подпись к рисунку располагается под ним, начинаясь с сокращения «Рис.» и порядкового номера. Рисунки и таблицы позиционируются по центру страницы.

Подрисуночные подписи и названия таблиц размещаются на русском и английском языках, каждый на новой строке с выравниванием по левому краю.

Образец:

Рис. 1. Пример рисунка в статье

Figure 1. Example of article image

Табл. 1. Пример таблицы в статье

Table 1. Example of table for article

ФОРМУЛЫ

Формулы должны быть набраны в редакторе формул MathType версии 6 или выше.

Цифры, греческие, готические и кириллические буквы набираются прямым шрифтом; латинские буквы для обозначения различных физических величин (A , F , b и т.п.) — курсивом; наименования тригонометрических функций, сокращенные наименования математических понятий на латинице (max, div, log и т.п.) — прямым; векторы ($\mathbf{a}$, $\mathbf{b}$ и т.п.) — жирным курсивом; символы химических элементов на латинице (Cl, Mg) — прямым.

Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Список источников составляется в порядке упоминания в тексте. Порядковый номер источника в тексте (ссылка) заключается в квадратные скобки. Текст статьи должен содержать ссылки на все источники из списка источников. При наличии ссылки должны содержать идентификаторы DOI.

Список источников на русском языке оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Список источников на английском языке (reference) оформляется в соответствии с международным стандартом цитирования Vancouver — последовательный численный стиль: ссылки нумеруются по ходу

их цитирования в тексте, таблицах и рисунках. ФИО авторов, название статьи на английском языке, наименование журнала, год выпуска; Том (выпуск): страницы.

Список источников и сведения об авторах указываются последовательно на русском и английском языках.

Нормативные документы (постановления, распоряжения, уставы), ГОСТы, справочная литература не указываются в списках источников, оформляются в виде сносок.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В **Сведениях об авторах (Bionotes)** представляется основная информация об авторском коллективе в следующем формате.

Имя, Отчество, Фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации; адрес электронной почты; ORCID, ResearcherID и др. (при наличии).

Сведения об авторах представляются на русском и английском языках.

Сведения об авторах на английском языке даются в полном виде, без сокращений слов. Приводятся официально установленные англоязычные названия организаций и их подразделений. Опускаются элементы, характеризующие правовую форму учреждения (организации) в названиях вузов.

Автор должен придерживаться единообразного написания фамилии, имени, отчества во всех статьях. Эта информация для корректной индексации должна быть указана в других статьях, профилях автора в Международных базах данных Scopus/WoS и т.д.

СВЕДЕНИЯ О ВКЛАДЕ КАЖДОГО АВТОРА

Сведениям предшествуют слова «**Вклад авторов:**» (**Contribution of the authors:**). После фамилии и инициалов автора в краткой форме описывается его личный вклад в написание статьи (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т.д.).

Сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализацию такого конфликта в случае его наличия указывают после всех данных о вкладе каждого автора.

КАК ПОДГОТОВИТЬ ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ, ЧТОБЫ ЕЕ ПРИНЯЛИ К ПУБЛИКАЦИИ?

ЗАГОЛОВОК

Заголовок статьи должен **кратко и точно** (не более 10 слов) отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. В него необходимо как вложить информативность, так и отразить привлекательность, уникальность научного творчества автора.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ

Основной текст научной статьи, представляемой в журнал для рассмотрения вопроса о ее публикации, должен быть оформлен в соответствии со стандартом IMRaD и включать следующие разделы: введение (Introduction), материалы и методы (Materials and methods), результаты исследования (Result), заключение и обсуждение (Conclusion and discussion).

Введение (Introduction). Отражает то, какой проблеме посвящено исследование. Осуществляется постановка научной проблемы, ее актуальность, связь с важнейшими задачами, которые необходимо решить, значение для развития определенной отрасли науки или практической деятельности.

Во введении должна содержаться информация, которая позволит читателю понять и оценить результаты исследования, представленного в статье без дополнительного обращения к другим литературным источникам. Во введении автор осуществляет обзор проблемной области (литературный обзор), в рамках которой осуществлено исследование, обозначает проблемы, не решенные в предыдущих исследованиях, которые призвана решить данная статья. Кроме этого, в нем выражается главная идея публикации, которая существенно отличается от современных представлений о проблеме, дополняет или углубляет уже

известные подходы к ней; обращается внимание на введение в научное обращение новых фактов, выводов, рекомендаций, закономерностей. Цель статьи вытекает из постановки научной проблемы.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ЛИТЕРАТУРНОГО ОБЗОРА

В Список источников рекомендуется включать от 20 до 40 источников, не учитывая ссылки на нормативные документы, интернет-ресурсы (сайты сети Интернет, не являющиеся периодическими изданиями), отчеты, а также источники, отсутствующие в каталогах ведущих российских библиотек-депозитариев (ГПНТБ, РНБ, РГБ), архивах и т.п. Подобные источники приводят в сносках внизу страницы сверх минимально рекомендуемого порога.

Не рекомендуется ссылаться на интернет-ресурсы, не содержащие научную информацию, учебники, учебные и методические пособия. В числе источников должно быть не менее 10 иностранных источников (для статей на английском языке не менее трех российских). Не менее шести из иностранных и не менее шести из российских источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования: Web of Science/Scopus или Ядро РИНЦ. Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее восьми статей из научных журналов не старше 10 лет, из них четыре — не старше трех лет. В списке источников должно быть не более 10 % работ, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Материалы и методы (Materials and methods). Отражает то, как изучалась проблема. Описываются процесс организации эксперимента, примененные методики, обосновывается их выбор. Детализация описания должна быть настолько подробной, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести их, пользуясь лишь текстом статьи.

Результаты (Result). В разделе представляется систематизированный авторский аналитический и статистический материал. Результаты проведенного исследования необходимо описывать достаточно полно, чтобы читатель мог проследить его этапы и оценить обоснованность сделанных автором выводов. Это основной раздел, цель его — при помощи анализа, обобщения и разъяснения данных доказать рабочую гипотезу (гипотезы). Результаты при необходимости подтверждаются иллюстрациями (таблицами, графиками, рисунками), которые представляют исходный материал или доказательства в свернутом виде. Важно, чтобы проиллюстрированная информация не дублировала уже приведенную в тексте. Представленные в статье результаты сопоставляются с предыдущими работами в этой области как автора, так и других исследователей.

Заключение (Conclusion and discussion) содержит краткую формулировку результатов исследования. В нем в сжатом виде повторяются главные мысли основной части работы. Повторы излагаемого материала лучше оформлять новыми фразами, отличающимися от высказанных в основной части статьи. В этом разделе необходимо сопоставить полученные результаты с обозначенной в начале работы целью. В заключении суммируются результаты осмысления темы, делаются выводы, обобщения и рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В заключительную часть статьи желательно включить попытку прогноза развития рассмотренных вопросов.

КАК ОФОРМИТЬ СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Список источников на русском языке оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Образец:

Литература

1. Голицын Г.С. Парниковый эффект и изменения климата // Природа. 1990. № 7. С. 17–24.
2. Шелушин Ю.А., Макаров К.Н. Проблемы и перспективы гидравлического моделирования волновых процессов в искаженных масштабах // Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. Вып. 2. Ст. 4. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.2.4

Список источников на английском языке (reference) оформляется в соответствии с международным стандартом цитирования Vancouver — последовательный численный стиль: ссылки нумеруются по ходу их цитирования в тексте, таблицах и рисунках. ФИО авторов, название статьи на английском языке, наименование журнала, год выпуска; Том (выпуск): страницы.

Образец:

Reference

Названия публикаций, изданий и других элементов библиографического описания для не англоязычных материалов должны приводиться в официальном варианте перевода (т.е. том, который размещен в самом издании; при наличии).

Примеры оформления распространенных типов библиографических ссылок:

Книги до трех авторов: Фамилия (Фамилии) Инициалы авторов. Заголовок. Город издания, Издатель*, Год издания; Общее количество страниц.

Образец:

Todinov M. *Reliability and risk models*. 2nd ed. Wiley, 2015; 80.

Книги более трех авторов: Фамилии Инициалы авторов (первых шести) et al. Заголовок. Город издания, Издатель, Год издания; Общее количество страниц.

Статья в печатном журнале: Фамилия (Фамилии) Инициалы авторов. Заголовок. Название журнала. Год публикации; Том* (Выпуск): Страницы. DOI (при наличии — обязательно).

Образец:

Pupyrev E. Integrated solutions in storm sewer system. *Vestnik MGSU*. 2018; 13(5):651-659. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.5.651-659

Статья в электронном журнале: Фамилия (Фамилии) Инициалы авторов. Заголовок. Название журнала. Дата публикации [дата цитирования]; Том* (Выпуск): Страницы. URL.

Образец:

Chertes K., Tupitsyna O., Martynenko E., Pystin V. Disposal of solid waste into soil-like remediation and building. *Stroitel'stvo nauka i obrazovanie* [Internet]. 2017 [cited 24 July 2018]; 7(3):3-3. URL: http://www.nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2017/03/03_03_2017.pdf DOI: 10.22227/2305-5502.2017.3.3

Статья, размещенная на интернет-сайте: Фамилия (Фамилии) Инициалы автора (авторов)*. Название [Internet]. Город, Издатель*, Год издания [Дата последнего обновления*; дата цитирования]. URL

Образец: *How to make a robot* [Internet]. *Design Academy*. 2018 [cited 24 July 2018]. URL: <https://academy.autodesk.com/how-make-robot>

* указываются при наличии.

Все даты указываются в формате ДД-Месяц (текстом)-Год

Для формирования англоязычного списка источников редакция рекомендует использовать ресурс Citethisforme.com.

ШАБЛОН СТАТЬИ

Тип Статьи

Тип статьи - научная статья, обзорная статья, редакционная статья, дискуссионная статья, персоналии, редакторская заметка, рецензия на книгу, рецензия на статью, спектакль и т. п., краткое сообщение.

УДК 11111

DOI 11111

ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ

должен кратко (не более 10 слов) и точно отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. В него необходимо как вложить информативность, так и отразить привлекательность, уникальность научного творчества автора.

Имя Отчество Фамилия¹, Имя Отчество Фамилия²...

¹ Место работы первого автора; город, страна

² Место работы первого автора; город, страна

**если авторов не более четырех, то необходимо указывать полные ФИО, от пяти авторов и более – допустимо использовать инициалы*

Аннотация (должна содержать от 200 до 250 слов), в которую входит информация под заголовками: **Введение, Материалы и методы, Результаты, Выводы.**

Введение: приводятся характеристики работы — если не ясно из названия статьи, то кратко формулируются предмет исследования, его актуальность и научная новизна, а также практическая значимость (общественная и научная), цель и задачи исследования. Лаконичное указание проблем, на решение которых направлено исследование, или научная гипотеза исследования.

Материалы и методы: описание применяемых информационных материалов и научных методов.

Результаты: развернутое представление результатов исследования. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории, а также данным, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.

Выводы: аргументированное обоснование ценности полученных результатов, рекомендации по их использованию и внедрению. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, новыми гипотезами, описанными в статье.

Приведенные части аннотации следует выделять соответствующими подзаголовками и излагать в данных разделах релевантную информацию. **См. рекомендации по составлению аннотации.**

Ключевые слова: 7–10 ключевых слов.

Ключевые слова являются поисковым образом научной статьи. Во всех библиографических базах данных возможен поиск статей по ключевым словам. В связи с этим они должны отражать основную терминологию научного исследования и не повторять название статьи.

Благодарности (если нужно).

В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам.

Автор, ответственный за переписку: Имя Отчество Фамилия, адрес электронной почты для связи.

ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

И.О. Фамилия¹, И.О. Фамилия²... на английском языке

¹ Место работы первого автора; город, страна – на английском языке

² Место работы первого автора; город, страна – на английском языке

**если авторов не более четырех, то необходимо указывать полные ФИО, от пяти авторов и более – допустимо использовать инициалы*

Abstract (200–250 слов)

Introduction: text, text, text.

Materials and methods: text, text, text.

Results: text, text, text.

Conclusions: text, text, text.

Key words: text, text, text.

Acknowledgements: text, text, text.

Corresponding author: Имя Отчество Фамилия, адрес электронной почты для связи — на английском языке

ВВЕДЕНИЕ

Задача введения — обзор современного состояния рассматриваемой в статье проблематики, обозначение научной проблемы и ее актуальности.

Введение должно включать обзор современных оригинальных российских и зарубежных научных достижений в рассматриваемой предметной области, исследований и результатов, на которых базируется представляемая работа (Литературный обзор). Литературный обзор должен подчеркивать актуальность и новизну рассматриваемых в исследовании вопросов.

Во введении должна содержаться информация, которая позволит читателю понять и оценить результаты исследования, представленного в статье.

Литературный обзор. Список источников включает от 20 до 50 источников, не учитывая ссылки на нормативные документы (ГОСТ, СНИП, СП), интернет-ресурсы (сайты сети Интернет, не являющиеся периодическими изданиями), отчеты, а также источники, отсутствующие в каталогах ведущих российских библиотек-депозитариев (ГПНТБ, РНБ, РГБ), архивах и т.п. Подобные источники следует указывать в списке литературы сверх минимально установленного порога. Не рекомендуется ссылаться на интернет-ресурсы, не содержащие научную информацию, учебники, учебные и методические пособия.

Уровень публикации определяют полнота и представительность источников. Не менее шести из иностранных и не менее шести из российских источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования:

- Web of Science <http://webofknowledge.com>
- Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
- ядро Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) <http://elibrary.ru>

Англоязычных источников включают в список не менее 50 %, за последние три года — не менее половины. Рекомендуется использовать оригинальные источники не старше 10 лет.

Ссылки на источники приводятся в статье в квадратных скобках. Источники нумеруются по порядку упоминания в статье.

Завершают введение к статье постановка и описание цели и задачи приведенной работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Раздел описывает методику проведения исследования. Обоснование выбора темы (названия) статьи. Сведения о методе, приведенные в разделе, должны быть достаточными для воспроизведения его квалифицированным исследователем.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В этой части статьи должен быть представлен систематизированный авторский аналитический и статистический материал. Результаты проведенного исследования необходимо описывать так, чтобы читатель мог проследить его этапы и оценить обоснованность сделанных автором выводов. Это основной раздел, цель которого — при помощи анализа, обобщения и разъяснения данных доказать рабочую гипотезу (гипотезы). Результаты при необходимости подтверждаются иллюстрациями (таблицами, графиками, рисунками), которые представляют исходный материал или доказательства в свернутом виде. Важно, чтобы проиллюстрированная информация не дублировала уже приведенную в тексте. Представленные в статье результаты следует сопоставить с предыдущими работами в этой области как автора, так и других исследователей. Такое сравнение дополнительно раскроет новизну проведенной работы, придаст ей объективность. Результаты исследования должны быть изложены кратко, но при этом содержать достаточно информации для оценки сделанных выводов. Не принято в данном разделе приводить ссылки на литературные источники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Заключение содержит краткую формулировку результатов исследования (выводы). В этом разделе показывают, как полученные результаты обеспечивают выполнение поставленной цели исследования, указы-

вают, что поставленные задачи авторами были решены. Приводятся обобщения и даются рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В рамках обсуждения желательно раскрыть перспективы развития темы.

В данном разделе не приводят ссылки на источники.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ (REFERENCES)

Оформляется на русском и английском языках.

Расположение источников в списке – в строгом соответствии с порядком упоминания в тексте статьи.

Библиографическое описание документов (в том числе и электронных) на русском языке оформляется в соответствии с требованиями ГОСТа Р 7.0.5–2008.

Библиографическое описание документов (в том числе и электронных) на английском языке оформляется в стиле «Ванкувер».

Русскоязычные источники необходимо приводить в официальном варианте перевода (т.е. том, который размещен в самом издании; при наличии). Название города издания приводится полностью, в английском написании. Названия журналов и издательств приводятся либо официальные английские (если есть), либо транслитерированные. В конце описания источника в скобках указывается язык источника (rus.).

Для изданий следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет. Интересующийся читатель должен иметь возможность найти указанный литературный источник в максимально сжатые сроки.

Если у статьи (издания) есть DOI, его обязательно указывают в библиографическом описании источника.

Важно правильно оформить ссылку на источник.

Пример оформления:

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самарин О.Д. О расчете охлаждения наружных стен в аварийных режимах теплоснабжения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 46–50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (дата обращения: 04.12.18).

2. Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Математическая модель тепломассопереноса в пористом теле // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8. № 3. С. 35–53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3

REFERENCES

1. Samarin O.D. On calculation of external walls coling in emergency condition of heat supply. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Construction*. 2007; 2:46-50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (Accessed 19th June 2015). (rus.).

2. Musorina T.A., Petrichenko M.R. Mathematical model of heat and mass transfer in porous body. *Construction: science and education*. 2018; 8(3):35-53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3 (rus.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Оформляются на русском и английском языках.

Об авторах: **Имя, отчество, фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации; адрес электронной почты;

Имя, отчество, фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение, **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор, почтовый адрес организации, адрес электронной почты.

Сведения об авторах на английском языке приводятся в полном виде, без сокращений слов. Приводятся официально установленные англоязычные названия организаций и их подразделений. Опускаются элементы, характеризующие правовую форму учреждения (организации) в названиях вузов.

Автор должен придерживаться единообразного написания фамилии, имени, отчества во всех статьях. Эта информация для корректной индексации должна быть указана в других статьях, профилях автора в

Международных базах данных Scopus / WoS и т.д.

Bionotes: **Имя, отчество, фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты;

Имя, отчество, фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты.

ВНИМАНИЕ! Все названия, подписи и структурные элементы рисунков, графиков, схем, таблиц оформляются на русском и английском языках.

Вклад авторов:

Фамилия И.О. - описание личного вклада в написание статьи в краткой форме (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т. д.).

Пример:

Артемяева С. С. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы. Митрохин В. В. – участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

После «Информации об авторах» приводят сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализацию такого конфликта в случае его наличия. Если в статье приводят данные о вкладе каждого автора, то сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов указывают после них.

Пример:

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

И з в е щ е н и е

Кассир

Форма № ПД-4

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7716103391032146430000000017300

(ИНН получателя платежа)(номер счета получателя платежа)

вГУ Банка России по ЦФОБИК004525988

(наименование банка получателя платежа)

КБК000000000000000000000000130

ОКТМО45365000

Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель,
май, июнь 2023 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика

Адрес

плательщика

Сумма

платы

за

Сумма

платежа

3 822

руб.

00

коп.

услуги

руб.

коп.

Итого

руб.

коп.

«

»

20

г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика

Форма № ПД-4

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7716103391032146430000000017300

(ИНН получателя платежа)(номер счета получателя платежа)

вГУ Банка России по ЦФОБИК004525988

(наименование банка получателя платежа)

КБК000000000000000000000000130

ОКТМО45365000

Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель,
май, июнь 2023 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика

Адрес

плательщика

Сумма

платы

за

Сумма

платежа

3 822

руб.

00

коп.

услуги

руб.

коп.

Итого

руб.

коп.

«

»

20

г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика

Квитанция

Кассир

Бланк для оплаты полугодовой подписки через редакцию (оплата в банке).

ВНИМАНИЕ!

Если вы оплатили подписку по форме ПД-4 в банке, то для своевременной отправки вам номеров журнала безотлагательно пришлите копию платежного документа и сообщите ваш адрес с почтовым индексом, Ф.И.О. на e-mail: podpiska@mgsu.ru.

Подписчики — работники НИУ МГСУ могут заполнить бланк на свое имя и обратиться в отдел распространения и развития Издательства МИСИ — МГСУ для оформления подписки.

Телефон: (495)287-49-14 (вн. 22-47), podpiska@mgsu.ru.

Подробную информацию о вариантах подписки на «Вестник МГСУ» для физических и юридических лиц смотрите на сайте журнала <http://vestnikmgsu.ru/>



И з в е щ е н и е

Кассир

Форма № ПД-4

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7716103391

(ИНН получателя платежа)

032146430000000017300

(номер счета получателя платежа)

в

ГУ Банка России по ЦФО

(наименование банка получателя платежа)

БИК004525988

КБК

0000000000000000000000000000130

ОКТМО

45365000

Вестник МГСУ - 573.34 руб. х 12 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь,
июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2023 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика

Адрес

плательщика

Сумма

платы

за

Сумма

платежа

6 880

руб.

00

коп.

услуги

руб.

коп.

Итого

руб.

коп.

«

»

20

г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика

Квитанция

Кассир

Форма № ПД-4

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7716103391

(ИНН получателя платежа)

0321464300000000000017300

(номер счета получателя платежа)

в

ГУ Банка России по ЦФО

(наименование банка получателя платежа)

БИК004525988

КБК

0000000000000000000000000000130

ОКТМО

45365000

Вестник МГСУ - 573.34 руб. х 12 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь,
июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2023 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика

Адрес

плательщика

Сумма

платы

за

Сумма

платежа

6 880

руб.

00

коп.

услуги

руб.

коп.

Итого

руб.

коп.

«

»

20

г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика

Бланк для оплаты полугодовой подписки через редакцию (оплата в банке).

ВНИМАНИЕ!

Если вы оплатили подписку по форме ПД-4 в банке, то для своевременной отправки вам номеров журнала безотлагательно пришлите копию платежного документа и сообщите ваш адрес с почтовым индексом, Ф.И.О. на e-mail: podpiska@mgsu.ru.

Подписчики — работники НИУ МГСУ могут заполнить бланк на свое имя и обратиться в отдел распространения и развития Издательства МИСИ — МГСУ для оформления подписки.

Телефон: (495)287-49-14 (вн. 22-47), podpiska@mgsu.ru.

Подробную информацию о вариантах подписки на «Вестник МГСУ» для физических и юридических лиц смотрите на сайте журнала <http://vestnikmgsu.ru/>

