

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал
по строительству и архитектуре

Том 16 Выпуск 12/2021
Vol. Issue

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction
and Architecture

DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

**Том 16. Выпуск 12
2021**

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

Сквозной номер 157

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction and Architecture

**Volume 16. Issue 12
2021**

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

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

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

Тематические рубрики

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

Наименование органа, зарегистрировавшего издание:	Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-63119 от 18 сентября 2015 г.
ISSN	1997-0935 (Print) 2304-6600 (Online)
Периодичность:	12 раз в год
Учредители:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26; Общество с ограниченной ответственностью «Издательство АСВ», 129337, Москва, Ярославское ш., д. 19, корп. 1.
Выходит при научно-информационной поддержке:	Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), Международной общественной организации содействия строительному образованию — АСВ.
Издатель:	ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». Издательство МИСИ – МГСУ 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26. Сайт: www.mgsu.ru E-mail: journals@mgsu.ru
Типография:	Типография Издательства МИСИ – МГСУ 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26 корп. 8. Тел.: (499) 183-91-44, 183-67-92, 183-91-90
Сайт журнала:	http://vestnikmgsu.ru
E-mail:	journals@mgsu.ru
Тел.:	(495) 287-49-14, доб. 23-93
Подписка и распространение:	Журнал распространяется бесплатно в открытом доступе и по подписке. Подписка по Объединенному каталогу «Пресса России». Подписной индекс 83989. Цена свободная.
Подписан в печать	26.12.2021.
Подписан в свет	29.12.2021.
Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 11,55. Тираж 100 экз. Заказ № 000	

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

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

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

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакция журнала

Выпускающий редактор: Анна Александровна Дядичева

Редактор: Татьяна Владимировна Бердникова

Корректор: Любовь Владимировна Светличная

Дизайн и верстка: Ольга Григорьевна Горюнова

Перевод на английский язык: Ольга Сергеевна Конакова

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

Председатель редакционного совета

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

Редакционный совет

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Рашид Абдуллович Мангушев, д-р техн. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, зав. каф. геотехники, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение выс-

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

VESTNIK ^{MGSU}

Monthly Journal on Construction and Architecture

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

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

Thematic sections

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

ISSN	1997-0935 (Print) 2304-6600 (Online)
Publication Frequency:	Monthly
Founders:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337; Limited Liability Company “ASV Publishing House”, 19, building 1 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337.
The Journal enjoys the academic and informational support provided by	The Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), International public organization of assistance to construction education (ASV)
Publisher:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337 Website: www.mgsu.ru E-mail: journals@mgsu.ru
Printing House:	Printing house of the Publishing house MISI – MGSU building 8, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337 tel. (499) 183-91-44, 183-67-92, 183-91-90.
Website journal:	http://vestnikmgsu.ru
E-mail:	vestnikmgsu@mgsu.ru , journals@mgsu.ru
Subscription:	Citizens of the CIS and other foreign countries can subscribe by catalog agency “Informnauka”, magazine subscription index 18077.
Signed for printing:	26.12.2021

Editor-in-Chief

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

Deputy Editor-in-Chief

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

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

Editorial Board

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

Piotr Banaszuk, Bialystok University of Technology, Republic of Poland

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Roode Liias, Tallin University of Technology, Estonia

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

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

Miroslav Premrov, University of Maribor, Republic of Slovenia

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

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

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

Josef Vichan, University of Zilina, Slovak Republic

Joost Walraven, Delft University of Technology, Netherlands

Zbigniew Wojcicki, Wrocław University of Technology, Republic of Poland

Editorial team of issues

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

Editor: *Tat'yana V. Berdnikova* **Layout:** *Ol'ga G. Goryunova*

Russian-English translation: *Ol'ga S. Konakova*

Chairman of the Editorial Board

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

Editorial Council

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ekaterina V. Nezdnikova, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

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

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

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

Oleg G. Primin, "MosVodoKanalNIIProekt" JSC, Moscow, Russian Federation

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

Е.В. Золотарева, Е.А. Коренькова

Анализ влияния соотношения типов пространственных структур скверов г. Орла на архитектурно-экологическую устойчивость урбанизированных ландшафтов 1541

А.Б. Бодэ, Т.В. Жигальцова

Никольская церковь в поморском селе Малошуйка — древнейший шатровый храм типа «восьмерик на четверике». История и архитектура 1549

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

А.В. Перельмутер

Использование критерия отпорности для оценки предельного состояния конструкции. 1559

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Э. Микерего, Д. Ндувимана

Impact of the fire on the bearing capacity of the ordinary concrete used in reinforced concrete structures in Burundi.

History and architecture

(Влияние пожара на несущую способность обычного бетона железобетонных конструкций в Бурунди.

История и архитектура) 1567

С.В. Самченко, Е.С. Егоров, М.А. Абрамов

Особенности повторного использования цементных суспензий при реализации технологии рециклинга бетонных смесей. 1573

ГИДРАВЛИКА. ГЕОТЕХНИКА. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Д.С. Дмитриев, А.А. Учеваткин

Численное моделирование в основе систем мониторинга безопасности гидротехнических сооружений и автоматизированные системы управления напряженно-деформированным состоянием 1582

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

С.А.А. Ахмед, Е.С. Гогина

Удаление фенола с помощью усовершенствованного процесса электрокоагуляции с персульфатной солью. 1592

М.В. Бодров, А.А. Смыков

Снижение энергоемкости и повышение экологической безопасности производственных помещений при использовании систем лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей 1599

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А.А. Лapidус, О.Д. Чапидзе

Совершенствование анализа факторов технических рисков с использованием комплексной модели FLDS на примере строительства многоэтажных жилых зданий. 1608

Требования к оформлению научной статьи 1620

CONTENTS

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION AND REFURBISHMENT

Elena V. Zolotareva, Ekaterina A. Korenkova

Analysis of the influence of types of spatial structures of public gardens of the Orel city on the architectural and ecological sustainability of urbanized landscapes 1541

Andrey B. Bode, Tatiana V. Zhigaltsova

Saint Nicholas Church in the pomor settlement of Maloshuyka — the oldest tent roof temple of the octagon-on-quadrangle type. History and architecture. 1549

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

Anatoly V. Perelmuter

Using the criterion of resistibility to assess of a structural limit state 1559

CONSTRUCTION MATERIAL ENGINEERING

Emmanuel Mikerego, Donatien Nduwimana

Impact of the fire on the bearing capacity of the ordinary concrete used in reinforced concrete structures in Burundi. History and architecture 1567

Svetlana V. Samchenko, Egor S. Egorov, Mihail A. Abramov

Features of using cement suspension in concrete mixture recycling technology 1573

HYDRAULICS. GEOTECHNIQUE. HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION

Dmitry S. Dmitriev, Alexander A. Uchevatkin

Mathematical simulation in the system of safety monitoring of hydraulic structures and automated control systems of stress-strain state 1582

ENGINEERING SYSTEMS IN CONSTRUCTION

Sameh Abdelfattah Araby Ahmed, Elena S. Gogina

Phenol removal by enhanced electrocoagulation process with persulfate salt 1592

Mikhail V. Bodrov, Aleksandr A. Smykov

Reducing energy capacity and increasing the environmental safety of industrial areas when using radiative heating systems based on water infrared radiators 1599

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION. ECONOMICS AND MANAGEMENT IN CONSTRUCTION

Azariy A. Lapidus, Otari D. Chapidze

Improving the analysis of technical risk factors using the integrated FLDS model on the example of the construction of multi-storey residential buildings. 1608

Requirements for research paper design 1620

ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ТЕМАТИКА ЖУРНАЛА. РЕДАКЦИОННАЯ ПОЛИТИКА

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

Тематический охват соответствует научным специальностям:

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

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

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

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

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

AIMS AND SCOPE. EDITORIAL BOARD POLICY

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

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

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

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

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

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

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 712.254

DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1541-1548

Анализ влияния соотношения типов пространственных структур скверов г. Орла на архитектурно-экологическую устойчивость урбанизированных ландшафтов

Елена Васильевна Золотарева¹, Екатерина Анатольевна Коренькова²

¹ Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева (ОГУ им. И.С. Тургенева);

г. Орел, Россия;

² Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина (Орловский ГАУ им. Н.В. Парахина); г. Орел, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Проект благоустройства сквера или парка должен появляться в результате научно обоснованного исследования территории и исходить из дальнейшего развития этого объекта. Цель исследования — анализ территории скверов г. Орла для определения влияния типов пространственных структур (ТПС) на особенности функционирования ландшафтного объекта, прогноза устойчивости исследуемого ландшафта и оценки динамики урбоэкосистем по состоянию древесной растительности.

Материалы и методы. Для разработки научно обоснованного проектирования устойчивых урбоэкосистем и реконструкции городских объектов ландшафтной архитектуры предложен метод исследования территории скверов по выделенным контурам ТПС, который позволяет выявить положительные и отрицательные факторы, влияющие на разработку проектных решений. При анализе ТПС изучаемых скверов использовали спутниковые снимки объектов.

Результаты. Анализ ТПС показал, что в большинстве рассматриваемых скверов преобладает закрытый ТПС, в среднем данный ТПС установлен на 41,8 % площади скверов. Расположение открытых и полукрытых ТПС бессистемно, носит случайный характер. Самая низкая эстетическая оценка выявлена у закрытого ТПС — 21,9 балла, что обусловлено трудностью выделения в таких пространствах видовых точек, слабой просматриваемостью, угнетением роста не только деревьев, но и напочвенного растительного покрова, который в большинстве случаев представлен изреженным травостоем с бедным видовым разнообразием. При проведении санитарно-гигиенической оценки различных ТПС определили, что закрытому ТПС соответствует также худшая оценка (2,5 класс), что связано со снижением пригодности к выполнению санитарно-гигиенических функций у ослабленных и поврежденных растений.

Выводы. Для большинства скверов г. Орла с близким к предельному в городских условиях возрастом насаждений характерен закрытый ТПС. Закрытый ТПС обусловил снижение не только привлекательности, но и выполняемой санитарно-гигиенической роли объектов ландшафтной архитектуры.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: скверы, тип пространственной структуры, древесные насаждения, ландшафтный объект, проектные решения, устойчивость

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Золотарева Е.В., Коренькова Е.А. Анализ влияния соотношения типов пространственных структур скверов г. Орла на архитектурно-экологическую устойчивость урбанизированных ландшафтов // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 12. С. 1541–1548. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1541-1548

Автор, ответственный за переписку: Екатерина Анатольевна Коренькова, korkatya@mail.ru.

Analysis of the influence of types of spatial structures of public gardens of the Orel city on the architectural and ecological sustainability of urbanized landscapes

Elena V. Zolotareva¹, Ekaterina A. Korenkova²

¹ Orel State University named after I.S. Turgenev; Orel, Russian Federation;

² Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin; Orel, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. A public garden or park improvement project should arise from a scientifically grounded study of the territory and proceed from the further development of this object. The aim of the study is to analyze the territory of public gardens in the city of Orel to determine the influence of types of spatial structures on the features of the functioning of a landscape object, to predict the stability of the studied landscape and to assess the dynamics of urban ecosystems based on the state

of tree vegetation. Tasks: to analyze the placement and ratio of types of spatial structures on the objects under study; to make an aesthetic and sanitary-hygienic assessment of the landscape; to monitor the state of woody vegetation at the facilities.

Materials and methods. For the development of scientifically based design of sustainable urban ecosystems and the reconstruction of urban objects of landscape architecture, a method is proposed for studying the territory of squares along the selected contours of types of spatial structures (TPS), which allows us to identify positive and negative factors affecting the development of design solutions. When analyzing the TPS of the investigated squares, satellite images of objects were used.

Results. As studies of the type of spatial structure have shown, in most of the investigated squares, indoor TPS prevails; on average, this type of spatial structure is established on 41.8 % of the square of squares. The location of open and semi-open TPS is haphazard and random. The lowest aesthetic score was established for the closed TPS-21.9 points, which is due to the difficulty of identifying species points in such spaces, poor visibility, inhibition of the growth of not only trees, but also the ground vegetation cover, which in most cases is represented by a sparse grass stand with poor species diversity. When conducting a sanitary and hygienic assessment of various TPSs, it was found that a closed TPS also corresponds to the worst grade (2.5 class), which is associated with a decrease in the suitability for performing sanitary and hygienic functions in weakened and damaged plants.

Conclusions. For the majority of public gardens in the city of Orel with a plant age close to the maximum in urban conditions, a closed type of spatial structure is characteristic. The closed type of spatial structure led to a decrease not only in attractiveness, but also in the performed sanitary and hygienic role of landscape architecture objects.

KEYWORDS: public gardens, type of spatial structure, tree plantations, landscape object, design solutions, sustainability

FOR CITATION: Zolotareva E.V., Korenkova E.A. Analysis of the influence of types of spatial structures of public gardens of the Orel city on the architectural and ecological sustainability of urbanized landscapes. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(12):1541-1548. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1541-1548 (rus.).

Corresponding author: Ekaterina A. Korenkova, korkatya@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Основная цель современной государственной социально-экономической политики в градостроительстве — повышение качества жизни, создание благоприятной среды обитания, обеспечение условий для устойчивого развития территории города [1–5]. Одними из факторов устойчивого развития города являются: укрепление и эволюция пространственного каркаса, сохранение природной среды, прогресс зеленого строительства, сохранение историко-культурного наследия [6, 7]. Элементы мезоструктуры природного каркаса города — сады, скверы, другие зеленые насаждения в пределах жилых районов и микрорайонов. Чем больше таких территорий, тем выше экологическая эффективность системы озеленения города, а значит, уровень комфорта городской среды для его жителей [8–10].

Состояние зеленых насаждений служит важным индикатором качества городской среды, которое во многом определяет комфортность проживания. Согласно Федеральному закону «Об охране окружающей среды» (2002)¹, мероприятия по охране зеленых насаждений направлены на формирование единой экологически устойчивой системы — зеленого каркаса города. Город принято считать экологически благополучным, если 10–12 % его площади составляют природные ландшафты, не используемые в хозяйственных целях². Формирование устойчивых,

эстетически ценных объектов ландшафтной архитектуры для гармоничного развития города возможно лишь при научном подходе.

Общая площадь г. Орла — 12 121 га. По данным администрации г. Орла площадь зеленых массивов и насаждений общего пользования — 196 га, водных объектов — 155 га. Таким образом, уровень озелененности Орла — менее 2 % (1,6 %) [11].

Скверам принадлежит значительная роль в повышении экологической устойчивости городской среды по занимаемой площади, количеству данных объектов, пространственному расположению в черте города. В связи с этим для роста экологической эффективности системы озеленения г. Орла актуально комплексное исследование территории скверов и оценка динамики урбоэкосистем.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проект благоустройства сквера или парка должен появляться в результате научно-обоснованного исследования территории и исходить из дальнейшего развития этого объекта. Однако на практике в проектах реконструкции объектов ландшафтной архитектуры и при создании новых этап оценки и прогноза устойчивости проектируемого ландшафта либо отсутствует полностью, либо является формальным, основанным на методиках определения устойчивости строительных конструкций и сооружений. При этом ключевые компоненты, определяющие качество ландшафтов в условиях города, — растительный и почвенный покров, по состоянию которых можно судить об эффективности построения ландшафтной структуры, взаимосвязи между остальными компонентами ландшафта — литологической основой, гидрогеологическими и гидрохимическими услови-

¹ Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ // Российская газета. Федеральный выпуск № 0(2874). 2002.

² СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*.

ями и т.д. [12–14]. В свою очередь, почва и растительность — наиболее лабильные, более деградируемые компоненты городских ландшафтов, что и определяет скорость динамических изменений самих ландшафтов в целом [15, 16].

Цель исследования — анализ территории скверов г. Орла для выявления влияния типов пространственных структур на особенности функционирования ландшафтного объекта, прогноза устойчивости исследуемого ландшафта и оценки динамики урбоэкосистем по состоянию древесной растительности.

Задачи исследования:

1. Проанализировать размещение и соотношение типов пространственных структур на исследуемых объектах.

2. Произвести эстетическую и санитарно-гигиеническую оценку ландшафта.

3. Провести мониторинг состояния древесной растительности на объектах.

Характеристика объекта исследования

При проведении исследований были изучены территории 10 скверов, расположенных в разных районах г. Орла. Для всех изучаемых объектов характерна небольшая площадь (до 2 га), близкий к предельному в городских условиях возраст насаждений и типичное расположение в плане города: скверы граничат с магистральными дорогами со значительной транспортной нагрузкой. Территориальное расположение определяет негативную динамику состояния урбоэкосистем — растительность в скверах подвергается сильному загрязнению выхлопными газами и тяжелыми металлами, воздействию шума от транспорта. Исследования проводились в 2020 г.

Методы исследования

Для разработки научно-обоснованного проектирования устойчивых урбоэкосистем и реконструкции городских объектов ландшафтной архитектуры предложен метод исследования территории скверов по выделенным контурам типов пространственных структур (ТПС), который позволяет выявить положительные и отрицательные факторы, влияющие на разработку проектных решений [17]. Анализ ТПС исследуемых скверов осуществляли с помощью спутниковых снимков объектов. На снимке со спутника (в некоторых случаях целесообразнее применять гибриды) выделялись контуры ТПС: открытых, закрытых и полукрытых. Для установления ТПС использовались следующие критерии: закрытый — кроны отдельных деревьев не различаются, образуют сплошной массив (признак горизонтальной сомкнутости); полукрытый — деревья отстоят друг от друга, границы крон каждого дерева хорошо определяются; открытый — открытое пространство (поляна, водоем, площадка и пр.). Ландшафтно-визуальный анализ территории объекта проводился путем комплексной эстетической и санитарно-гигиенической оценки каждого выделенного на территории ТПС отдельно, что обусловило повышение объективности выводов, в отличие от методик оценки, предлагаю-

щих оценивание территорий объектов ландшафтной архитектуры в целом, без разделения на участки. Оценка динамики урбоэкосистем по состоянию древесной растительности также выполнялась отдельно по ТПС путем установления качественного состояния деревьев и их категории жизнеспособности по стандартной методике мониторинга состояния городских зеленых насаждений [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Зеленые насаждения вместе с рельефом, сооружениями формируют пространственную структуру объекта ландшафтной архитектуры. В качестве основного классификационного признака объемно-пространственной структуры принят тип пространственной структуры, определяемый сомкнутостью полога древесных насаждений, густотой и характером их размещения на объекте ландшафтной архитектуры.

Размещение ТПС на небольших по площади объектах ландшафтной архитектуры обычно подчиняется логике: закрытый ТПС располагается на периферии участка, а открытый — в центре. Классический вариант сквера должен быть открытым и хорошо просматриваемым. Однако в условиях городской среды и существующей в городах России системе ухода за зелеными насаждениями, пространственная структура не всегда сохраняет проектные характеристики и после 20–30 лет функционирования объекта меняется на неблагоприятную.

Как показали наши исследования ТПС на территориях скверов г. Орла, соотношение ТПС на объекте в большинстве случаев не соответствует градостроительным требованиям (табл. 1).

Данные табл. 1 показывают, что в большинстве исследуемых скверов преобладает закрытый ТПС, в среднем данный тип пространственной структуры установлен на 41,8 % площади скверов. На таких пространствах отмечается полная горизонтальная сомкнутость полога, деревья произрастают в условиях недостаточной площади питания, освещения, что в условиях неблагоприятной экологической обстановки усугубляет условия произрастания насаждений и не может не вызвать их ослабления. Скверы с преобладанием закрытого ТПС излишне затенены, имеющиеся доминанты почти не выделяются на фоне насаждений. Также загущенные насаждения отрицательно сказываются на формировании системы видовых точек. Закрытые участки размещаются равномерно по всей территории, что объясняется отсутствием регулярного ухода за древесными насаждениями, а также значительным возрастом деревьев.

Расположение открытых (30,7 % общей площади скверов) и полукрытых (27,5 %) ТПС бессистемно, носит случайный характер. Но на этих участках наблюдается улучшение условий произрастания деревьев: границы крон каждого дерева, а следовательно, площади питания, хорошо определяются.

Табл. 1. Соотношение ТПС в скверах г. Орла

Table 1. The ratio of the types of spatial structures in the public gardens of the city of Orel

Сквер Public gardens	ТПС, % TSSs, %		
	Закрытый Closed	Полуоткрытый Semi-open	Открытый Open
Имени Н.Н. Поликарпова Named after N.N. Polikarpov	64	21	15
Трамвайный Tramvainiy	35	29	36
Буревестник Burevestnik	10	50	40
400-летия Орла 400th anniversary of Orel	15	30	55
Имени Л.Н. Гуртьева Named after L.N. Gurtjev	69	10	21
Имени И.А. Бунина Named after I.A. Bunin	65	10	25
Комсомольский Komsomolsky	60	25	15
Писателей-орловцев Writers of Orel	30	30	40
Сквер ОГУ OSU Square	60	30	10
Имени В.В. Маяковского Named after V.V. Mayakovsky	10	40	50
Среднее Average	41,8	27,5	30,7

Эстетическая оценка ландшафта (максимальное значение — 50 баллов) устанавливается по визуальным-сравнительным заключениям и определяется четырьмя показателями: окружающее обрамление (насаждения, водные поверхности, архитектура) — как наиболее важный фактор оценивается наибольшим количеством баллов; видовые точки (насыщенность, уникальность, глубина перспектив); рельеф (экспозиция, процент уклона); почвенно-растительный покров (состояние, разнообразие).

Для характеристик санитарно-гигиенического состояния исследуемого объекта принимается их пригодность к выполнению санитарно-гигиенических и оздоровительных функций: от максимального уровня первого класса до минимального уровня третьего класса.

Как показали исследования (табл. 2), наибольшее количество баллов и, соответственно, высокую эстетическую оценку получили полуоткрытый ТПС (36,1 балла) и открытый ТПС (33,4 балла). Самая низ-

Табл. 2. Эстетическая и санитарно-гигиеническая оценка скверов г. Орла

Table 2. Aesthetic and sanitary and hygienic assessment of the public gardens of the city of Orel

Сквер Square	Эстетическая оценка ТПС, баллы Aesthetic assessment of the TSSs, points			Санитарно-гигиеническая оценка ТПС, класс		
	Закрытый Closed	Полуоткрытый Semi-opened	Открытый Opened	Закрытый Closed	Полуоткрытый Semi-opened	Открытый Opened
Имени Н.Н. Поликарпова Named after N.N. Polikarpov	16	41	29	3	2	2
Трамвайный Tramvainiy	21	36	15	3	2	2
Буревестник Burevestnik	15	39	41	1	1	1
400-летия Орла 400th anniversary of Orel	37	33	48	2	2	2
Имени Л.Н. Гуртьева Named after L.N. Gurtjev	26	31	42	2	2	1

Окончание табл. 2 / End of the Table 2

Сквер Square	Эстетическая оценка ТПС, баллы Aesthetic assessment of the TSSs, points			Санитарно-гигиеническая оценка ТПС, класс		
	Закрытый Closed	Полуоткрытый Semi-opened	Открытый Opened	Закрытый Closed	Полуоткрытый Semi-opened	Открытый Opened
Имени И.А. Бунина Named after I.A. Bunin	12	30	39	3	2	2
Комсомольский Komsomolsky	18	36	28	3	2	2
Писателей-орловцев Orel writers	32	43	25	3	2	2
Сквер ОГУ OSU Square	30	43	29	3	2	2
Имени В.В. Маяковского Named after V.V. Mayakovsky	12	29	38	2	1	2
Среднее Average	21,9	36,1	33,4	2,5	1,8	1,8

кая эстетическая оценка у закрытого ТПС — 21,9 балла, что обусловлено трудностью выделения в таких пространствах видовых точек, слабой просматриваемостью, угнетением роста не только деревьев, но и напочвенного растительного покрова, который в большинстве случаев представлен изреженным травостоем с бедным видовым разнообразием.

При проведении санитарно-гигиенической оценки различных ТПС выявили, что закрытому ТПС соответствует также худшая оценка (2,5 класс), что связано со снижением пригодности к выполнению санитарно-гигиенических функций у ослабленных и поврежденных растений.

Наиболее характерный компонент городских биогеоценозов, интегрально отражающий изменения экосистем, — древостой (древесные насаждения). Мониторинг состояния зеленых насаждений осуществляется в целях оценки состояния зеленых насаждений и его динамики, в том числе негативной [19, 20].

При изучении состава и состояния растительности скверов установлено, что в древесных посад-

ках преобладают лиственные породы, среди них липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.). Из хвойных чаще всего встречаются ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) Karst.), ель колючая (*Picea pungens* Engelm.) и туя западная (*Thuja occidentalis* L.). В живых изгородях преобладают кизильник блестящий (*Cotoneaster lucidus* Schlecht.), сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.), виды рода спирей (*Spiraea* s.p.), можжевельник казацкий (*Juniperus sabina* L.).

Для определения влияния ТПС на устойчивость древесных насаждений проведен мониторинг состояния видов, которые встречаются во всех исследованных скверах. Средний балл качественного состояния видов деревьев приведен в табл. 3.

Результаты исследований показали хорошее состояние без признаков ослабления у большинства видов в открытых и полуоткрытых пространствах скверов, их состояние оценивается 3,5–4 баллами.

Табл. 3. Влияние ТПС на устойчивость древесных насаждений

Table 3. Influence of the types of spatial structures on the resistance of tree stands

Вид Species	Качественное состояние деревьев в зависимости от ТПС Quality conditions of trees depending on the TSSs		
	Закрытый Closed	Полуоткрытый Semi-open	Открытый Open
Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i> Mill.) <i>Tilia cordata</i> Mill.	2,9	3,7	3,5
Клен ясенелистный (<i>Acer negundo</i> L.) <i>Acer negundo</i> L.	3,4	4	3,9
Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.) <i>Sorbus aucuparia</i> L.	2,6	3,1	3
Клен остролистный (<i>Acer platanoides</i> L.) <i>Acer platanoides</i> L.	3,3	3,8	3,8

Только рябина обыкновенная, которая менее устойчива в городских условиях произрастания и быстрее теряет жизнеспособность, характеризуется удовлетворительным состоянием в открытых пространствах, которое ухудшается при увеличении сомкнутости насаждений — в закрытом ТПС оценка снижается до 2,6 баллов. В закрытых пространствах установлено, что в среднем у деревьев листва часто светлее обычного, крона слабоажурная, прирост ослаблен, по сравнению с нормальным в кроне около 25 % сухих ветвей, что соответствует удовлетворительной оценке (3,4–2,6 балла) и ослабленному качественно-состоянию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для большинства скверов г. Орла с возрастом насаждений, близким к предельному в городских условиях, характерен закрытый тип пространствен-

ной структуры, в среднем этот ТПС установлен на 41,8 % общей площади изученных скверов.

В результате анализа влияния размещения и соотношения ТПС на комплексную оценку территорий выявлено, что закрытый ТПС обусловил снижение не только привлекательности, но и выполняемой санитарно-гигиенической роли объектов ландшафтной архитектуры.

Наиболее благоприятные условия для устойчивого функционирования древесных насаждений в городских скверах складываются в полукрытых и открытых пространствах.

При разработке научно обоснованного проектирования и реконструкции городских объектов ландшафтной архитектуры рекомендуется проводить анализ ТПС на объекте, что обеспечит более объективное прогнозирование устойчивости реконструируемых урбоэкосистем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Cheshmehzangi A., Butters C., Xie L., Dawodu A. Green infrastructures for urban sustainability: issues, implications, and solutions for underdeveloped areas // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2021. Vol. 59. P. 127028. DOI: 10.1016/J.UFUG.2021.127028
2. Гейл Я., Гемзо Л. Новые городские пространства. М. : Концерн Крост, 2012. 263 с.
3. Golubeva E.I., Korol T.O., Sayanov A.A. Innovation in landscape design in urban areas // *History of the future: 52nd World Congress of the International Federation of Landscape Architects. Congress proceedings 10–12 June 2015 Saint-Petersburg, Russia*, 2015. Pp. 633–637.
4. Liu D., Kwan M.-P., Kan Z. Analysis of urban green space accessibility and distribution inequity in the city of Chicago // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2021. Vol. 59. P. 127029. DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127029
5. Ji Y.-W., Liu J., Zhang X., Zhang L., Zhong Q. Optimizing spatial distribution of urban green spaces by balancing supply and demand for ecosystem services // *Journal of Chemistry*. 2020. Vol. 2020. Pp. 1–8. DOI: 10.1155/2020/8474636
6. Golubeva E.I., Korol T.O. The main directions in the landscape-ecological planning of urban areas // *Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*. 2020. Pp. 235–241. DOI: 10.1007/978-3-030-14519-4_26
7. Murzin A.D. Strategic planning of innovation goal-setting in development of urban areas // *Krasnoyarsk Science*. 2014. Vol. 0. Issue 5. P. 8. DOI: 10.12731/2070-7568-2014-5-1
8. Barkalov S.A., Kurochka P.N., Pinaeva M.A. Model of formation plans for the urban areas development // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 537. Issue 6. P. 062035. DOI: 10.1088/1757-899X/537/6/062035
9. Данилина Н.В., Маджорзадеджахири А. Analysis situation of urban green space framework in Tehran // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. № 8. С. 975–985. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.8.975-985
10. Kuklina V., Sizov O., Fedorov R. Green spaces as an indicator of urban sustainability in the Arctic cities: Case of Nadym // *Polar Science*. 2021. Vol. 29. P. 100672. DOI: 10.1016/j.polar.2021.100672
11. Zolotareva E.V. Study of the structure and condition of Orel street plantings // *Architektura Krajobrazu*. 2011. Vol. 2 (31). Pp. 47–53.
12. Агаркова М.Г., Строганова М.Н., Скворцова И.Н. Биологическая активность почв урбанизированных территорий // *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*. 1994. № 1. С. 45–49.
13. Якушина Э.И. Древесные растения в озеленении Москвы. М. : Наука, 1982. 158 с.
14. Мозолевская Е.Г. Мониторинг состояния зеленых насаждений и городских лесов Москвы // *Экология большого города. Альманах*. Вып. 2. М. : Прима-Пресс, 1997. С. 16–59.
15. Borisova E. Environmental functions of green spaces and their impact on the urban microclimate // *GREEN-2020. Graduate Research in Ecology, Engineering and Nature*. Moscow, 2020. Pp. 28–31.
16. Wang C.H., Juo W.-J. An environmental policy of green intellectual capital: green innovation strategy for performance sustainability // *Business Strategy and the Environment*. 2021. DOI: 10.1002/bse.2800
17. Trubina L., Nikolaeva O., Mullayarova P. The environmental monitoring and management of urban greenery using GIS technology // *IOP Conference*

Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 395. P. 012065. DOI: 10.1088/1755-1315/395/1/012065

18. Мозолева Е.Г. Методы оценки и прогноза динамики состояния насаждений // Лесное хозяйство. 1998. № 3. С. 43–45.

19. Puchol-Salort P., O'Keeffe J., van Reeuwijk M., Mijic A. An urban planning sustainability framework: Systems approach to blue green urban design //

Sustainable Cities and Society. 2021. Vol. 66. P. 102677. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102677

20. Kronenberg J., Haase A., Laszkiewicz E., Antal A., Baravikova A., Biernacka M. et al. Environmental justice in the context of urban green space availability, accessibility, and attractiveness in postsocialist cities // Cities. 2020. Vol. 106. P. 102862. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102862

Поступила в редакцию 6 декабря 2021 г.

Принята в доработанном виде 16 декабря 2021 г.

Одобрена для публикации 16 декабря 2021 г.

О Б АВТОРАХ: Елена Васильевна Золотарева — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры проектирования городской среды; Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева (ОГУ им. И.С. Тургенева); 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95; flower64@mail.ru;

Екатерина Анатольевна Коренькова — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры ландшафтной архитектуры; Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина (Орловский ГАУ им. Н.В. Парахина); 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, д. 69; korkatya@mail.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Cheshmehzangi A., Butters C., Xie L., Dawodu A. Green infrastructures for urban sustainability: issues, implications, and solutions for underdeveloped areas. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2021; 59:127028. DOI: 10.1016/J.UFUG.2021.127028

2. Gehl J., Gemzme L. *New city spaces*. Moscow, Concern Krost, 2012; 264. (rus.).

3. Golubeva E.I., Korol T.O., Sayanov A.A. Innovation in landscape design in urban areas. *History of the future: 52nd World Congress of the International Federation of Landscape Architects*. Congress proceedings 10–12 June 2015, Saint-Petersburg, Russia, 2015; 633–637.

4. Liu D., Kwan M.-P., Kan Z. Analysis of urban green space accessibility and distribution inequity in the city of Chicago. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2021; 59:127029. DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127029

5. Ji Y.-W., Liu J., Zhang X., Zhang L., Zhong Q. Optimizing spatial distribution of urban green spaces by balancing supply and demand for ecosystem services. *Journal of Chemistry*. 2020; 2020:1–8. DOI: 10.1155/2020/8474636

6. Golubeva E.I., Korol T.O. The main directions in the landscape-ecological planning of urban areas. *Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*. 2020; 235–241. DOI: 10.1007/978-3-030-14519-4_26

7. Murzin A.D. Strategic planning of innovation goal-setting in development of urban areas. *Krasnoyarsk Science*. 2014; 0(5):8. DOI: 10.12731/2070-7568-2014-5-1

8. Barkalov S.A., Kurochka P.N., Pinaeva M.A. Model of formation plans for the urban areas development. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 537(6):062035. DOI: 10.1088/1757-899X/537/6/062035

9. Danilina N.V., Majorzadehzahiri A. Analysis situation of urban green space framework in Tehran. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(8):975–985. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.8. 975–985

10. Kuklina V., Sizov O., Fedorov R. Green spaces as an indicator of urban sustainability in the Arctic cities: Case of Nadym. *Polar Science*. 2021; 29:100672. DOI: 10.1016/j.polar.2021.100672

11. Zolotareva E.V. Study of the structure and condition of Orel street plantings. *Architektura Krajobrazu*. 2011; 2(31):47–53.

12. Agarkova M.G., Stroganova M.N., Skvortsova M.G. Biological properties of urbanized territories. *Bulletin of the Moscow University. Series 17: Soil Science*. 1994; 13:45–49. (rus.).

13. Yakushina E.I. *Woody plants in the landscaping of Moscow*. Moscow, Nauka Publ., 1982; 158. (rus.).

14. Mozolevskaya E.G. Monitoring of the state of green spaces and urban forests in Moscow. *Ecology of the big city. Almanac. Issue 2*. Moscow, Prima-Press Publ., 1997; 16–59. (rus.).

15. Borisova E. Environmental functions of green spaces and their impact on the urban microclimate. *GREEN-2020. Graduate Research in Ecology, Engineering and Nature*. Moscow, 2020; 28–31.

16. Wang C.H., Juo W.-J. An environmental policy of green intellectual capital: green innovation strategy for performance sustainability. *Business Strategy and the Environment*. 2021. DOI: 10.1002/bse.2800
17. Trubina L., Nikolaeva O., Mullayarova P. The environmental monitoring and management of urban greenery using GIS technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 395:012065. DOI: 10.1088/1755-1315/395/1/012065
18. Mozolevskaya E.G. Methods for assessing and forecasting the dynamics of the state of plants. *Forestry*. 2018; 3:43-45. (rus.).
19. Puchol-Salort P., O'Keeffe J., van Reeuwijk M., Mijic A. An urban planning sustainability framework: Systems approach to blue green urban design. *Sustainable Cities and Society*. 2021; 66:102677. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102677
20. Kronenberg J., Haase A., Łaskiewicz E., Antal A., Baravikova A., Biernacka M. et al. Environmental justice in the context of urban green space availability, accessibility, and attractiveness in post-socialist cities. *Cities*. 2020; 106:102862. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102862.

Received December 6, 2021.

Adopted in revised form on December 16, 2021.

Approved for publication on December 16, 2021.

B I O N O T E S: **Elena V. Zolotareva** — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Urban Environment Design; **Orel State University named after I.S. Turgenev**; 95 Komsomolskaya St., Orel, 302026, Russian Federation; flower64@mail;

Ekaterina A. Korenkova — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Landscape Architecture; **Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin**; 69 General Rodin St., Orel, 302019, Russian Federation; korkatya@mail.ru.

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

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 908; 726.03

DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1549-1558

Никольская церковь в поморском селе Малошуйка — древнейший шатровый храм типа «восьмерик на четверике». История и архитектура

Андрей Борисович Бодэ^{1,2}, Татьяна Валентиновна Жигальцова³

¹ Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации — филиал Научно-исследовательского института теории и истории архитектуры и градостроительства (ЦНИИП Минстроя России — филиал НИИТИАГ); г. Москва, Россия;

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

³ Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (САФУ имени М.В. Ломоносова); г. Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Никольская церковь в Малошуйке, датируемая 1638 г., отличается тем, что это — один из самых ранних известных образцов широко распространенного типа деревянного храма. Несмотря на свою историко-культурную значимость, объект практически не изучен. Для более полного понимания развития русского деревянного церковно-строительства и формирования типологии необходимо рассмотреть Никольскую церковь в контексте общерусских храмостроительных традиций XVII в. Столь значительный памятник требует определения своего места в ходе развития русского деревянного зодчества.

Материалы и методы. Исследование основано на исторических архивных документах и материалах натурного обследования памятника. Никольская церковь рассматривается комплексно в совокупности с историей села и региона. Для изучения объекта использован историко-архитектурный подход. Проводится сопоставление объекта с аналогами, применяется сравнительно-типологический анализ. Для выявления индивидуального и типичного в архитектуре Никольской церкви типологически однородные объекты анализируются в хронологическом и географическом срезе.

Результаты. Вводятся в научный оборот новые исторические источники. Выявлена строительная история и периодизация Никольской церкви. Определены изменения облика каждого строительного этапа. Дается архитектурно-художественная и стилистическая характеристика объекта на каждом строительном этапе. Проведено сопоставление объекта с аналогами и выявлены характерные признаки данного типа храма на ранних этапах его эволюции. Они выражаются в общих размерах, пропорциях, декоративной обработке. Установлены региональные признаки типа и общерусские черты. Выявлено место исследуемого объекта в истории русской деревянной архитектуры.

Выводы. Никольская церковь является уникальным памятником русского деревянного зодчества. Будучи самым ранним деревянным шатровым храмом типа «восьмерик на четверике», объект отражает архитектуру ранних этапов формирования типа. Никольская церковь обладает региональными архитектурными особенностями, но в целом соответствует общерусским архитектурным традициям XVII в.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: русское деревянное зодчество, строительная история, деревянные храмы, восьмерик на четверике, Онежское Поморье, Малошуйка, поморские традиции

Благодарности. Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 20-012-00356 «Архитектура деревянных храмов Онежского Поморья XVII–XIX вв. Типология, эволюция, региональные традиции».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бодэ А.Б., Жигальцова Т.В. Никольская церковь в поморском селе Малошуйка — древнейший шатровый храм типа «восьмерик на четверике». История и архитектура // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 12. С. 1549–1558. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1549-1558

Автор, ответственный за переписку: Андрей Борисович Бодэ, bode-niitag@yandex.ru

Saint Nicholas Church in the pomor settlement of Maloshuyka — the oldest tent roof temple of the octagon-on-quadrangle type. History and architecture

Andrey B. Bode^{1,2}, Tatiana V. Zhigaltsova³

¹ Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation — a branch of the Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning

(TsNIIP of the Ministry of Construction of Russia — a branch of NIITIAG); Moscow, Russian Federation;

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

³ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (NArFU); Arkhangelsk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The Saint Nicholas Church in Maloshuyka, dated 1638, is notable for being one of the earliest known examples of a widely spread type of wooden temple. Despite its historical and cultural significance, this object remains largely unstudied. To better understand the development of Russian wooden church construction and set up a typology, it is necessary to consider the Saint Nicholas Church in the context of all-Russian church building traditions of the 17th century. A monument of such significance needs to have its own place in the history of Russian wooden architecture.

Materials and methods. The study was based on historical archival documents and on-site survey results. We considered the monument together with the history of the settlement and the entire region. A joint historical and architectural approach was used to study the object. The object was compared with its equivalents via comparative typological analysis. In order to identify individual and typical features in the Saint Nicholas Church architecture, typologically similar objects were reviewed chronologically and geographically.

Results. New historical sources were introduced into the scientific discourse. Construction history and periodization of the Saint Nicholas Church were identified. We determined changes in appearance at each construction stages, and described architectural, artistic and stylistic descriptions of the object at each construction stage. The object was compared with similar objects, and characteristic features of this type of church at the early stages of its evolution were identified. They were expressed in general dimensions, proportions, and decorative finish. Regional typical features and all-Russian features were singled out. The place of the object in the Russian history of wooden architecture was defined.

Conclusions. The Saint Nicholas Church is a unique monument of Russian wooden architecture. Being the oldest tent roof wooden temple of octagon-on-quadrangle type, this object reflects the earliest development stages of this architectural type. The Saint Nicholas Church has certain local architectural features, but it generally conforms to the all-Russian architectural traditions of the 17th century.

KEYWORDS: russian wooden architecture, history and construction, wooden temples, octagon-on-quadrangle, Onega Pomorye, Maloshuyka, pomor traditions

Acknowledgements: The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) in the framework of the project No. 20-012-00356 "Architecture of 17th–19th century wooden churches of the Onega Pomorye. Typology, evolution, regional traditions".

FOR CITATION: Bode A.B., Zhigaltsova T.V. Saint Nicholas church in the pomor settlement of Maloshuyka — the oldest tent roof temple of the octagon-on-quadrangle type. History and architecture. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(12):1549-1558. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1549-1558 (rus.).

Corresponding author: Andrey B. Bode, bode-niitag@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

Деревянное зодчество остается одним из малоизученных явлений в русской культуре. Причина этого заключается в огромном количестве сохранившихся объектов, расположенных на удаленных территориях, и относительно небольшом числе исследователей. Русское деревянное церковное зодчество отличается необычайно большим разнообразием архитектурных и конструктивных решений и имеет достаточно четко структурированную типологию [1]. Определенные типы церквей достоверно известны с XVI в. [2, с. 11–12] или даже с XV в. [3, с. 11–17]. Один из самых распространенных типов деревянных церквей — постройки с основным срубом в виде «восьмерика на четверике», завершенные шатром. К этому типу относится едва ли не самый известный памятник деревянного зодчества — Успенская церковь 1774 г. в Кондопоге [4]. Однако при повсеместной распространенности этого типа большинство известных объектов приходится на вторую половину XVII–XVIII вв., т.е. их развитие прослеживается на небольшом отрезке времени.

Регион Беломорье обладает особенной историко-культурной спецификой. Строительство и развитие архитектуры здесь характеризует активность в связи

с пересечением торговых и экономических связей, в том числе зарубежных [5]. Рассмотрим Никольскую церковь 1638 г. в с. Малошуйка (д. Абрамовская) Онежского района Архангельской области (рис. 1).



Рис. 1. Никольская церковь (1638), с. Малошуйка д. Абрамовская (фото Т. Жигальцовой)

Fig. 1. Saint Nicholas Church (1638), Maloshuyka Abramovskaya village (photo by T. Zhigaltsova)



Рис. 2. Архитектурный ансамбль с. Малошуйка д. Абрамовская, Онежский район (рис. А.Б. Бодэ)

Fig. 2. The architectural ensemble in Maloshuka Abramovskaya village, Onega District (drawing by A.B. Bode)

Никольская церковь расположена на возвышенности в отдалении от жилых построек и входит в состав трехчастного архитектурного ансамбля, состоящего также из Сретенской церкви (1873) и колокольни (1807) (рис. 2). Постановлением Советов Министров РСФСР № 624 от 04.12.1974 ансамблю была присвоена федеральная категория охраны.

Никольская церковь является одним из самых ранних известных образцов шатрового деревянного храма типа «восьмерик на четверике». Об объекте неоднократно писали в научной литературе, но он остается малоисследованным с точки зрения архитектуры и типологии. До сих пор был не изучен корпус архивных исторических источников, проведено лишь беглое натурное обследование, не выявлена строительная история объекта. Не определено его место в соответствующем типологическом ряду и в истории русского деревянного зодчества.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Цель исследования — комплексное изучение Никольской церкви в с. Малошуйка в историческом, архитектурном, конструктивном, типологическом аспектах, выявление ее регионального своеобразия и взаимосвязи с общерусскими архитектурными традициями. Задачи исследования — сбор архивно-исторических данных по исследуемому объекту и месту; натурное обследование объекта; выявление строительной истории и периодизации объекта; сравнительно-типологический анализ объекта и его аналогов; определение характерных архитектурных особенностей объекта; сопоставление его архитектуры с общерусскими архитектурными традициями XVII в.

Для выполнения задач в работе используется комплексный подход, сочетающий исследовательские научно-реставрационные методы обследования

и изучения с научными методами исторического, архитектурного и сравнительно-типологического анализа. Методика историко-архитектурного обследования объекта близка к методике проведения комплексных научных обследований реставрируемых памятников [6]. Архивные исторические поиски составляют одну из основ исследования [7]. В работе изыскания сведений по истории и строительству исследуемого памятника выполнены в Государственном архиве Архангельской области. Натурное обследование объекта включает архитектурные обмеры, фотофиксацию, зарисовки деталей, представляющих особую историко-архитектурную ценность. Совокупный анализ данных натурных обследований и архивно-библиографических сведений служит для выявления строительных этапов, через которые прошел памятник, и понимания изменений, происшедших на каждом строительном этапе. Выполняются сравнительно-типологический анализ объекта исследования и в совокупности с аналогами анализ эволюции архитектурных форм типа в период XVII–XVIII вв., сопоставление архитектуры объекта с каменным зодчеством XVII в.

Типологический и эволюционный анализ архитектуры Никольской церкви позволяет выявить ее своеобразие, сопоставить с иными представителями этого типа в других регионах Севера, и в итоге методом обобщения определить место исследуемого памятника в общем ходе развития русского деревянного зодчества.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Храмовый комплекс с. Малошуйка состоит из трех построек — Никольской церкви (1638), Сретенской церкви (1873) и колокольни (1807). Датой постройки Никольской церкви принято считать

1638 г. по дате Указа митрополита Новгородского Афония «строить новый деревянный храм в честь святителя Николая, на месте сгоревшего храма в честь такого же святого» [8, с. 17]. Из Указа следует, что здесь находилась более ранняя постройка, возможно, схожего архитектурного типа.

Однако в других архивных документах фигурирует иная дата постройки. В Клировой ведомости 1799 г. говорится, что имеющийся антиминс на белом полотне «Священнодействовал благословением Иова Митрополитом Великоновгородскаго и Великолуцкаго 1700 года» [9, л. 219]. Иов был возведен в сан митрополита в 1697 г. и оставался им до своей смерти в 1716 г. [10]. Как известно, дата антиминса свидетельствует либо о постройке, либо о капитальном ремонте церкви. Эта же дата встречается и в документе 1820 г., в котором говорится, что Никольская церковь имеет антиминс 1700 г. «сентября «22» дня». В этом же году антиминс был священнодействован и для Никольской церкви в Ворзогорском приходе [11, л. 257]. Интересными представляются архивные документы 1833 [12] и 1834 [13] гг., в которых значится постройка церкви в 1700 г. и есть приписка: «Прежде на том же месте были Церкви» [12, л. 2]. Академик архитектуры В.В. Суслов утверждал, что церковь «за исключением нижней части главного сруба, которая была в древности часовней» относится к 1700 г. постройки [14, с. 43].

Известно, что в церкви хранился «Крест храмозданный деревянный» 1638 г., на котором была высечена резная надпись: «Месяца Апреля во первый день, лета ХРМС» [15, л. 4]. С этим крестом связана местная легенда о «Никодимовом кресте»: «Когда панских-то разбойников прогнали с Поморья, вернулись малошюана с озер, а от села нашего ничего. Ну, мужики первым делом часовенку срубили, потом избы поправили. До не долго простояла часовенка — сгорела. А наша Малошуйка приписана была в ту пору Кожеозерскому монастырю... Снарядили малошюана ходоков в монастырь за благословением на постройку новой часовни. А о ту пору жив был в монастыре преподобный Никодим. Мужики наши в монастырь сходили, получили от игумена благословение и принесли крест освященный... Долго крест этот на церкви стоял, а когда подгнил, то уж новый срубили... Много народишку к нему хаживало, благодать от него исходила» [16]. Крест долгое время хранился в шатре Никольской церкви [16].

Если учесть все имеющиеся сведения, то сохранившаяся Никольская церковь датируется 1638 г., о чем свидетельствует Указ Новгородского митрополита Афония и «храмозданный» крест. В 1700 г., вероятно, был выполнен капитальный ремонт, по случаю которого митрополит Иов священнодействовал антиминс.

Самым первым известным нам описанием Никольской церкви являются идентичные «Описи иму-

щества церковью Онежской округи» 1808 [17], 1814 [18] и 1819 [19] гг., в которых даны размеры церкви: «в вышину до Кровли 6 сажень, в длину по фундаменту с трапезою до Олтаря 6-ть сажень с половиною, в ширину 5-ть сажень» [19, л. 180]. Алтарь «в два полукружия», с западной стороны для входа в паперть устроено деревянное крыльцо «над Оным Крышка на два ската», двери «створные» [19, л. 180–181]. Над дверью находился «Образ Святителя Николая в деревянной Столярной работе кивоте Золочен Листовым Золотом, и в деревянном Ковчеге, которой с наружи выкрашен Красным Суриком» [19, л. 181]. Расположение окон в церкви: в паперти с южной стороны два окна, с северной — три; в самой Церкви 4 окна (без указания сторон), в Алтаре два окна. Иконостас резной, золоченный листовым золотом [19, л. 181].

После поездки его преосвященства Неофита епископа Архангельского и Холмогорского в сентябре 1823 г. по приходам Онежского уезда, 4 декабря 1824 г. вышел «Указ Его Императорского Величества Самодержца Всероссийского из Архангельской Духовной Консистории в Онежское духовное правление» от епископа с требованием исправить замеченные им неисправности: «в Следствии замечанныя мною при асмотре нижепоказанных приходов неисправностей велеть немедленно чрез Благочинных Следующие во Исполнение...» [20, л. 13]. По отношению к Малошуйскому приходу было указано хранить в алтаре утварь в «чистоте и опрятности», разобрать архив и составить опись, а также устроить ограду вокруг церковью, «перебрать ризницу и починить паперть Никольской церкви» и «огородить место для ризницы в Стороне церкви» [20, л. 13 об.]. Слова «перебрать» ризницу, а не «пристроить» говорят о том, что ризница существовала до 1824 г., но в вышеуказанных описаниях 1808, 1814, 1818 гг. ее нет, как нет и окна, которое должно было бы быть, если бы ризница существовала.

Видимо, в 1823 г. ризница была недавно построена. Она располагалась прямо напротив паперти и конструктивно была связана с нею (рис. 3). Починка паперти повлекла бы за собой переборку ризницы. Наверное, этим объясняются слова: «перебрать ризницу и починить паперть». Требование «огородить место для ризницы в Стороне церкви» остается непонятным. Возможно, оно связано с переборкой ризницы и временным хранением бревен.

Точная дата починки паперти и перестройки ризницы нам не известна. Описание храма 1829 [21, 22] и 1833 [12] гг. содержит данные о размерах, расположении и количестве окон в документах 1808, 1814 и 1819 гг. Сведений о пристройках в них нет. Однако в документе следующего 1834 г. дано описание церкви с понамарней и ризницей: «Олтарь оной церкви в два полукружия, с северной стороны построены Понамарня и ризница, Кровля на Церкви и Олтаре деревянная, с Западной стороны для входа

в паперть Крыльцо деревянное, над оным крышка на два ската, двери створные, деревянные... В Паперти на Южной Стороне два Окна, на Северной три Окна, в Церкви четыре окна, во Святом Олтаре два, в Пономарне и ризнице по одному окну, во всех оных окнах окончины стеклянные и решотки железные» [13]. Таким образом, скорее всего, починка паперти и перестройка ризницы произошли в 30–40-е годы XIX в.

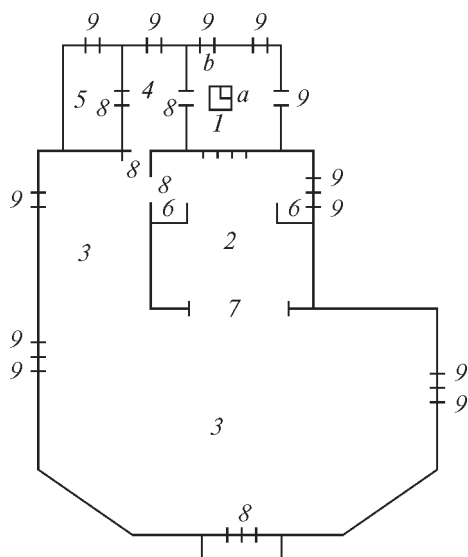


Рис. 3. План Никольской церкви (1638): 1 — алтарь; 2 — церковь; 3 — притвор; 4 — пономарня; 5 — ризница; 9 — окна [21, с. 102]

Fig. 3. Plan of Saint Nicholas Church (1638): 1 — altar; 2 — church; 3 — narthex; 4 — bell ringer room; 5 — sacristy; 9 — windows [21, p. 102]

В описании храма 1856 г. появляются новые данные об обшивке церкви тесом и покраске шатра, сама церковь оставалась некрашенной: «Холодная церковь во имя Светителя и Чудотворца Николая, построена в виде шатра или конуса с одною главою, окрашена чернедью, а шейка главы белою краскою. По ниже шатра осмерня, после которой здание расширяется на три стороны, а соответственно сему и крыша оканчивается на три ската. Олтарь устроен уступами с обеих сторон, он оканчивается крышею на два ската, на верху которой небольшая глава и крест. Самая церковь обшита тесом, но некрашена; в высоту и длину по фундаменту до олтаря по шести сажень, ширина от 3 ½ до 4 сажень» [23, л. 9].

Известно, что к 1895 г. стены и крыши церкви были окрашены: «Глава церкви окрашена медянкою, женка (шея — прим. авторов) белилами, а все прочее же охрой» [24, л. 6]. Что касается количества окон, то в более ранних документах указывается наличие 11 окон [19, л. 181], а в документе 1895 г. на 3 окна больше — 14 [24, л. 6]. Вероятно, это — окна в ризнице и пономарне, сделанные в 30–40-е гг. XIX в. Кроме этого, в документе 1895 г. даются более под-

робные размеры церкви: «Фундамента не заметно. Алтарь устроен с уступом на южной стороне в две сажени квадратных. По северную сторону алтаря два равные отделения — первое для пономаря и второе для ризницы. Самая церковь в 2 и ½ сажени ширина, 3 сажени длины и 2 высоты. На северной стороне церкви особое отделение, предназначенное в древности, по всей вероятности, для женщин. Трапеzia шириною превосходит остальные части здания — 5 сажень 2 аршины. Потолок и крыша в ней (трапеzie) на три ската» [24, л. 6]. Эти размеры и описание помещений соответствуют тому, что мы сейчас видим на памятнике.

Никольская церковь известна уникальным утраченным двускатным крыльцом с полой (без передней стенки) бочкой: «Выдающееся украшение этой церкви — двухстороннее крыльцо, отделанное колонками и балясником. Средина его покрыта весьма типичною и изящною крышею “бочечкой”» [14, с. 43]. Изображение полой бочки сохранилось на рисунке В.В. Суслова [14, с. 42] и фотографии В.А. Плотнокова в работе И.Э. Грабаря [26, с. 473]. Подобное завершение крыльца присутствовало во дворце Алексея Михайловича в Коломенском (1668–1681) [25, с. 110]. Есть пример пустотелой бочки над входом и в каменном зодчестве. Это — Благовещенская церковь 1675 г. в с. Тайнинском под Москвой [25, с. 110]. Из этого мы заключаем, что данный прием был характерен для XVII в., а в Малошуйке был воспроизведен в XIX в. в силу инертности развития архитектуры в провинции, а возможно, как повторение предшествующего крыльца.

Покраска крыш и стен деревянных зданий, как известно, требует периодического обновления. На рис. В.В. Суслова [14, с. 42] конца XIX в. шейка главки окрашена белилами, однако на фотографии Никольской церкви начала XX в. (рис. 4) видно, что шейка главки окрашена явно не белилами, а стены, наоборот — не охрой, а белилами (подпись к фотографии: «Церковь св. Николая старинная, обшита тесом, белая, ограждена деревянной балюстрадой») [27].

И действительно, из источника 1903 г. становится ясно, что в первые годы XX в. церковь была окрашена повторно: «Холодная церковь в честь Светителя и Чудотворца Николая, шатровая, с одною главою и осьмиконечным крестом на ней, обшита тесом. Глава церкви окрашена медянкою, шейка желтым кроном, а все прочее белилами. Фундамента не заметно...» [28, л. 3]. Следовательно, в строительной истории памятника можно выделить еще один последний этап, связанный с изменением цветового решения. С приходом советской власти Никольская церковь была закрыта в 1931 г., находилась на балансе колхоза, использовалась в качестве склада [29, с. 611].

Материалы натурного обследования памятника подтвердили сведения исторических источников.

Основной сруб Никольской церкви, состоящий из восьмерика на четверике, и прямоугольный алтарный прируб представляют собой древнейшую часть здания. Эта часть имеет сравнительно небольшие размеры, стройные пропорции, что сопоставимо с аналогичными ранними известными церквями типа «восьмерик на четверике» — Воздвиженской 1623 г. в с. Кургоминское и Воскресенской 1643 г. в с. Малая Немнюга [25, с. 103; 110]. В этот же ряд можно поставить Никольскую церковь середины XVII в. в с. Пурнема [30]. Кроме того, церковь в Малошуйке завершается большим шатром с крупной главой. Это роднит ее с древнерусскими храмами в целом [31].



Рис. 4. Фотография Никольской церкви (1638), начало XX в. [27]

Fig. 4. Photo of Saint Nicholas Church (1638), early 20th century [27]

Шатровые храмы типа «восьмерик на четверике» во второй половине XVII–XVIII вв. имеют более крупный масштаб и значительно большее разнообразие пропорций. Ко второй половине XVII в. относятся достаточно крупные по величине церковь Иоанна Златоуста 1665 г. в с. Саунино, Никольская церковь 1670 г. в с. Волосово, Ильинская церковь 1692 г. в с. Самино и др. Для деревянного зодчества второй половины XVII в. характерно развитие и бурный расцвет региональных северорусских школ. Объекты северо-западных земель отличаются фронтонными поясами, устраивавшимися при переходе от четверика к восьмерику [32]. Шатровые храмы северо-восточных областей характеризуют декоративные кокошники, размещавшиеся на гранях восьмерика [33]. Именно такой особенностью обладает Никольская церковь

в Малошуйке. Кокошники на ней были удалены при позднейших перестройках, но от них хорошо сохранились следы под обшивкой и внутри восьмерика. Шатровые храмы северо-западных и северо-восточных регионов отличаются пропорциональным соотношением срубного основания и шатра [34]. Церковь в Малошуйке, имеющая небольшое срубное основание и высокий шатер, по пропорциональному строю тяготеет к северо-восточной традиции.

Для конца XVIII в. характерно строительство шатровых храмов особенно больших размеров, что существенно отличает их от объектов первой половины XVII в. Успенская церковь 1774 г. в Кондопоге, Дмитриевская церковь 1784 г. в с. Верхняя Уфтюга, Благовещенская церковь 1795 г. в с. Турчасово — это поистине грандиозные сооружения высотой более 40 м. Увеличение масштаба церковных зданий мы наблюдаем не только на примере шатровых храмов. Это явление, свойственное всем типам деревянных церквей, предвещает развитие в том же направлении деревянной архитектуры в XIX в. [35]. Архитектурные особенности Никольской церкви в Малошуйке уже далеки от этих новых влияний, они остаются в XVII в. на ранних этапах развития шатрового храма типа «восьмерик на четверике».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Итак, в строительной истории исследуемой Никольской церкви выявлены следующие этапы:

- 1) 1638 г. — строительство Никольской церкви, второй по счету на месте сгоревшего предшествовавшего храма;
- 2) 1700 г. — капитальный ремонт Никольской церкви с освящением. На этом этапе перестраивалась паперть;
- 3) 30–40-е годы XIX в. — ремонт паперти и перестройка ризницы;
- 4) середина XIX в. — обшивка тесом, покраска шатра, шеи и главки церкви;
- 5) конец XIX в. (около 1895 г.) — покраска всей церкви;
- 6) начало XX в. (около 1903 г.) — повторная покраска всей церкви с изменением цветового решения.

Никольская церковь является уникальным памятником русского деревянного зодчества. Она обладает архитектурными особенностями, свойственными северо-восточным областям, выражавшимися в высоком шатре и устройстве декоративных кокошников. В целом Никольская церковь соответствует общерусским архитектурным традициям XVII в.

Будучи самым ранним деревянным шатровым храмом типа «восьмерик на четверике», объект отражает архитектуру ранних этапов формирования типа. Архаичными признаками данного типа храма можно признать компактность плана, небольшие размеры по сравнению с более поздними аналогичными храмами и пропорционально крупный верх. Николь-

ская церковь относится к древнейшим и выдающимся произведениям архитектуры и имеет высокую историко-культурную ценность.

Дальнейшее направление работы заключается в исследовании новых объектов региона Онежское Поморье с целью раскрытия их историко-культурной ценности, выявления регионального своеобразия

деревянного зодчества. Проводимые научные исследования актуальны для сохранения и реставрации памятников деревянного зодчества. Благодаря большому количеству сохранившихся объектов Онежское Поморье имеет высокий историко-культурный потенциал для развития туризма и оживления малых исторических поселений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Орфинский В.П., Гришина И.Е. Типология деревянного культового зодчества Русского Севера. Петрозаводск : Издательство ПетрГУ, 2004. 278 с.
2. Давыдов А.И. Исследования по истории архитектуры и нижегородскому краеведению. Нижний Новгород : Нижегородская историко-этнологическая лаборатория, 2016. 224 с.
3. Шургин И.Н. Исчезающее наследие. Очерки о русских деревянных храмах XV–XVIII веков. М. : Совпадение, 2006. 200 с.
4. Бодэ А.Б. Успенская церковь в Кондопоге. Строительная история, архитектурные особенности, прионежские аналоги // Архитектурное наследие. 2016. № 65. С. 91–102.
5. Khodakovsky E. Wood in the Architecture of Europe and Russia: National Specifics and International Research // Historic Wooden Architecture in Europe and Russia. Evidence, Study and Restoration. Basel, 2016. Pp. 6–17.
6. Khodakovsky E., Lexau S.S. The Northern Neighbours and Their Heritage // Architectural Conservation and Restoration in Norway and Russia. 2017. Pp. 1–6. DOI: 10.4324/9781315276205-1
7. Khodakovsky E., Noskova A. Archives and Historical Documents in Contemporary Research of the Wooden Architecture of the Russian North // Historic Wooden Architecture in Europe and Russia. Evidence, Study and Restoration. Basel, 2016. Pp. 78–91.
8. Верюжский М.В. Малошуйский приход // Архангельские епархиальные ведомости. 1896. № 3. С. 16–18.
9. ГААО (Государственный архив Архангельской области). Ф. 29. Оп. 37. Д. 8. Л. 219. Клировая ведомость. 1799.
10. Митрополит Иов Новгородская Епархия. Русская православная церковь Московского Патриархата. URL: <http://vn-eparhia.ru/svyatiteli-novgorodskoj-zemli/151-svyatiteli-novgorodskoj-zemli-xix-vek/957-iov-mitropolit-novgorodskij>
11. ГААО. Ф. 29. Оп. 31. Д. 15. Описи архиерейской ризницы и ведомости о церквях, церковном имуществе и церковнослужителях. 1771–1822.
12. ГААО. Ф. 462. Оп. 1. Д. 28. Опись имуществ и угодий церквей Малошуйского прихода. 1833.
13. ГААО. Ф. 29. Оп. 31. Д. 320. Опись церковного имущества по Малошуйскому приходу Онежской округе. 1834.
14. Суслов В.В. Путевые заметки о Севере России и Норвегии. СПб. : Типография А.Ф. Маркса, 1888. 72 с.
15. ГААО. Ф. 29. Оп. 31. Д. 1894. Главная опись церковного и ризничного имущества Малошуйской церкви Онежского Уезда. 1903.
16. Воспоминания Е.И. Шайтановой, с. Малошуйка, запись 1966 года / из личного архива местного историка-краеведа А.Н. Кузнецова.
17. ГААО. Ф. 29. О. 31. Д. 148. Опись церковного имущества по Онежской округе. 1808.
18. ГААО. Ф. 29. Оп. 31. Д. 176. Опись церковного имущества по Онежской округе. 1814.
19. ГААО. Ф. 29. Оп. 31. Д. 193. Опись церковного имущества по Онежской округе. 1819.
20. ГААО. Ф. 478. Оп. 1. Д. 2. Указы Архангельской Духовной Консистолии и Онежского духовного правления. 1824–1827.
21. Известия Императорской археологической комиссии. Вып. 41: вопросы реставрации. СПб. : Типография Главного Управления Уделов, 1911. 228 с.
22. ГААО. Ф. 29. Оп. 31. Д. 258. Опись церковного имущества по Онежской округе. 1829.
23. ГААО. Ф. 29. Оп. 31. Д. 767. Церковная и ризничная опись Архангельской Епархии Онежского Уезда Малошуйской Сретенской Церкви. 1856.
24. ГААО. Ф. 29. Оп. 31. Д. 1637. Главная опись церковного и ризничного имущества Архангельской Епархии Онежского уезда Малошуйского прихода церквей. 1895.
25. Забелло С.Я., Иванов В.Н., Максимов П.Н. Русское деревянное зодчество. М. : Государственное архитектурное издательство Академии архитектуры СССР, 1942. 214 с.
26. Грабарь И.Э. История русского искусства. М. : издание И. Кнебель, 1910. Т. 1. 508 с.
27. РЭМ (Российский этнографический музей). 2637–79. Церковь св. Николая старинная, обшита тесом, белая, ограждена деревянной баллюстрадой. Архангельская губерния, Онежский уезд, д. Малошуйка, Великороссы. Ф. Нег.
28. ГААО. Ф. 29. Оп. 31. Д. 1894. Главная опись церковного и ризничного имущества Малошуйской церкви Онежского Уезда. 1903.
29. Жигальцова Т.В. Историко-культурное наследие Арктики: северный «тройник» в селе Мало-

шуйка, Онежское Поморье // Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие арктических территорий : сб. мат. Всерос. конф. с междунар. участием II Юдахинские чтения. Архангельск : Ом-медиа, 2019. С. 609–612.

30. *Ходаковский Е.В., Курина Н.Н.* Никольская церковь в селе Пурнема и деревянная храмовая архитектура Беломорья XVII–XVIII веков // Архитектурное наследие. 2011. № 55. С. 61–68.

31. *Бондаренко И.А.* К вопросу о происхождении луковичной формы церковных глав // Народное зодчество : межвузовский сб. Петрозаводск : Издательство ПетрГУ, 1998. С. 105–113.

32. *Носкова А.Г.* Онежско-Ладужская архитектурная традиция XVII–XVIII вв. // Деревянное зодчество : сб. науч. ст. 2011. С. 124–158.

33. *Бодэ А.Б.* Деревянные шатровые храмы. Архитектура, локальные традиции, происхождение // Вестник МГСУ. 2010. № 4–5. С. 24–30.

34. *Орфинский В.П.* Храмостроительные школы в народном деревянном зодчестве Русского Севера // Локальные традиции в народной культуре Русского Севера. Петрозаводск : КНЦ РАН, 2003. С. 396–400.

35. *Ходаковский Е.В.* Древнерусские деревянные храмовые комплексы Русского Севера и их преобразование в XIX столетии // Архитектурное наследие. 2018. № 69. С. 51–61.

Поступила в редакцию 18 ноября 2021 г.

Принята в доработанном виде 3 декабря 2021 г.

Одобрена для публикации 3 декабря 2021 г.

О Б АВТОРАХ: **Андрей Борисович Бодэ** — кандидат архитектуры, заведующий сектором деревянного зодчества; **Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации** — филиал Научно-исследовательского института теории и истории архитектуры и градостроительства (ЦНИИП Минстроя России — филиал НИИТИАГ); 111024, Москва, Душинская ул., д. 9; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет** (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 277025; bode-niitag@yandex.ru;

Татьяна Валентиновна Жигальцова — кандидат философских наук, доцент кафедры культурологии и религиоведения; **Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (САФУ имени М.В. Ломоносова)**; 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17; РИНЦ ID: 552031; zhitava@gmail.com.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Orfinskiy V.P., Grishina I.E. *Typology of wooden cult architecture of the Russian North*. Petrozavodsk, Publishing house of Petrozavodsk State University, 2004; 278. (rus.).

2. Davydov A.I. *Architectural history and Nizhny Novgorod local lore studies*. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod Historical and Ethnological Laboratory, 2016; 224. (rus.).

3. Shurgin I.N. Vanishing heritage. Essays on Russian wooden temples of the 15-18th centuries. Moscow, Sovpadenie, 2006; 200. (rus.).

4. Bode A., Noskova A. Assumption church in Kondopoga. History of construction, architectural features, Onega-region analogues. *Architectural Heritage*. 2016; 65:91-102. (rus.).

5. Khodakovsky E. Wood in the Architecture of Europe and Russia: National Specifics and International Research. *Historic Wooden Architecture in Europe and Russia*. Evidence, Study and Restoration. Basel, 2016; 6-17.

6. Khodakovsky E., Lexau S.S. The Northern Neighbours and Their Heritage. *Architectural Conservation and Restoration in Norway and Russia*. 2017; 1-6. DOI: 10.4324/9781315276205-1

7. Khodakovsky E., Noskova A. Archives and Historical Documents in Contemporary Research of the Wooden Architecture of the Russian North. *Historic Wooden Architecture in Europe and Russia*. Evidence, Study and Restoration. Basel, 2016; 78-91.

8. Veryuzhskiy M.V. Maloshuyka parish. *Arkhangelsk Eparchial Records*. 1896; 3:16-18. (rus.).

9. State archive of Arkhangelsk region. Fund 29, Series 37, Case 8. Sheet 219. Clerical record. 1799. (rus.).

10. Metropolitan Job / Nizhny Novgorod Episcopate. Russian Orthodox Church, Moscow Patriarchate. URL: <http://vn-eparhia.ru/svyatiteli-novgorodskoj-zemli/151-svyatiteli-novgorodskoj-zemli-xix-vek/957-i-ov-mitropolit-novgorodskij> (rus.).

11. State archive of Arkhangelsk region. Fund 29, Series 31, Case 15. Inventories of archiereus sacristy and

records of churches, church property and minor orders. 1771-1822. (rus.).

12. State archive of Arkhangelsk region. Fund 462, Series 1, Case 28. Inventory of church property and land in Maloshuyka parish. 1833. (rus.).

13. State archive of Arkhangelsk region. Fund 29, Series 31, Case 320. Inventory of church property in Maloshuyka parish, Onega district. 1834. (rus.).

14. Suslov V.V. *Travel notes about the Russian North and Norway*. St. Petersburg, Printing office of A.F. Marks, 1888; 72. (rus.).

15. State archive of Arkhangelsk region. Fund 29, Series 31, Case 1894. Main inventory of church and sacristy property, Maloshuyka church of Onega uezd. 1903. (rus.).

16. Memoirs of E.I. Shaytanova, Maloshuyka settlement, record of 1966 / from the personal archive of historian and local lore expert A.N. Kuznetsov. (rus.).

17. State archive of Arkhangelsk region. Fund 29, Series 31, Case 148. Inventory of church property for Onega district. 1808. (rus.).

18. State archive of Arkhangelsk region. Fund 29, Series 31, Case 176. Inventory of church property for Onega district. 1814. (rus.).

19. State archive of Arkhangelsk region. Fund 29, Series 31, Case 193. Inventory of church property for Onega district. 1819. (rus.).

20. State archive of Arkhangelsk region. Fund 478, Series 1, Case 2. Orders of Arkhangelsk Ecclesiastical Consistory and Onega Ecclesiastical Board. 1824-1827. (rus.).

21. Proceedings of Imperial archaeological commission. *Issue 41: restoration issues*. St. Petersburg, Printing house of Chief Domain Administration, 1911; 228.

22. State archive of Arkhangelsk region. Fund 29, Series 31, Case 258. Inventory of church property for Onega district. 1829. (rus.).

23. State archive of Arkhangelsk region. Fund 29, Series 31, Case 767. Church and sacristy inventory of Maloshuyka Church of the Presentation, Onega uezd, Arkhangelsk episcopate. 1856. (rus.).

24. State archive of Arkhangelsk region. Fund 29, Series 31, Case 1637. Main inventory of church and sacristy property of Maloshuyka parish, Onega uezd, Arkhangelsk episcopate. 1895. (rus.).

25. Zabello S.Ya., Ivanov V.N., Maksimov P.N. *Russian wooden architecture*. Moscow, State architectural publishing house of the USSR Academy of Architecture, 1942; 214. (rus.).

26. Grabar' I.E. *Russian art history*. Moscow, I. Knebel', 1910; 1:508. (rus.).

27. Russian Ethnographic Museum. 2637–79. Saint Nicholas church in Maloshuyka settlement, Arkhangelsk province, Onega uezd, Great Russians. Photographic negative. (rus.).

28. State archive of Arkhangelsk region. Fund 29, Series 31, Case 1894. Main inventory of church and sacristy property, Maloshuyka church of Onega uezd. 1903. (rus.).

29. Zhigaltsova T.V. Historical and cultural heritage of the Arctic: northern “triplet” in Maloshuyka settlement, Onega Pomorye. *Environmental safety assurance and sustainable development of Arctic territories: proceeding of all-Russian conference with international participation*. Arkhangelsk, Om-media, 2019; 609-612. (rus.).

30. Khodakovski E.V., Kurina N.N. St. Nicholas' church in the village Purnema and 17th-18th century wooden church architecture of the White Sea region. *Architectural Heritage*. 2011; 55:61-68. (rus.).

31. Bondarenko I.A. On the origin of onion-shaped church tops. *Folk Architecture: inter-university collection of papers*. Petrozavodsk, Publishing house of Petrozavodsk State University, 1998; 105-113. (rus.).

32. Noskova A.G. Onega-Ladoga architectural tradition of the XVII-XVIIIth centuries. *Wooden architecture: collection of scientific articles*. 2011; 124-158. (rus.).

33. Bode A.B. Wooden tent roof temples. Architecture, local traditions, origin. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2010; 4-5:24-30. (rus.).

34. Orfinskiy V.P. Temple-building schools in folk wooden architecture of the Russian North. *Local traditions in folk culture of the Russian North*. Petrozavodsk, Kola research center of the Russian Academy of Sciences, 2003; 396-400. (rus.).

35. Khodakovskiy E.V. Ancient early Russian wooden church complexes of the Russian north and their transformations in the 19th century. *Architectural Heritage*. 2018; 69:51-62. (rus.).

Received November 18, 2021.

Adopted in revised form on December 3, 2021.

Approved for publication on December 3, 2021.

BIONOTES: **Andrey B. Bode** — PhD in Architecture, Head of the Wooden Architecture Sector; **Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation — a branch of the Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning (TsNIIP of the Ministry of Construction of Russia — a branch of NIITIAG)**; 9 Dushinskaya st., Moscow, 111024 Moscow, Russian Federation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 277025; bode-niitag@yandex.ru;

Tatiana V. Zhigaltsova — Candidate of Philosophy, Associate Professor of the Department of Culturology and Religious Studies; **Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (NArFU)**; 17 Severnaya Dvina embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; ID RISC: 552031; zhitava@gmail.com.

Contribution of the authors: all the authors contributed to this article equivalently.

The authors declare that there is no conflict of interests.

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

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.04

DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1559-1566

Использование критерия отпорности для оценки предельного состояния конструкции

Анатолий Викторович Перельмутер

Научно-производственное объединение «СКАД Софт» (НПО «СКАД Софт»); г. Киев, Украина

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматриваются характеристики поведения произвольной конструкции при нагрузках, приближающихся к предельному значению. Цель исследования — построение объективной и достаточно универсальной методики определения несущей способности конструкции, которая позволила бы отказаться от субъективных оценок их предельной несущей способности.

Материалы и методы. Характеристики поведения оцениваются путем анализа кривой состояний равновесия. Кривая строится с использованием характерного перемещения, под которым понимается то обобщенное перемещение q , которое энергетически соответствует действующей обобщенной силе λ в том смысле, что произведение λdq дает приращение работы обобщенной силы λ на приращениях перемещения dq .

Результаты. Показано, что реакция системы в каких бы то ни было фиксированных ее состояниях не всегда является достаточной для оценки надежности системы при переменном взаимодействии с внешним миром. Применяется концепция В.В. Катюшина о дополнении понятия предельного состояния характеристикой поведения системы, которая определяется скоростью изменения реакции системы при изменении внешнего воздействия. В качестве измерителя предлагается использовать уменьшение угла наклона кривой состояний равновесия, которое характеризует потерю отпорности и, следовательно, может быть использовано для оценки близости конструкции к состоянию отказа, которое возникает при нулевой отпорности системы. Предложено принять в качестве предельного значение угла наклона кривой состояний равновесия состояние, когда отпорность уменьшилась, а скорость нарастания деформации увеличилась в 100 раз по сравнению с поведением системы на начальном этапе нагружения. Это проиллюстрировано примером расчета железобетонной диафрагмы здания.

Выводы. Представленная методика расчета может найти применение при проектировании несущих строительных конструкций, конечно-элементная расчетная модель которых содержит компоненты, отличные от стержневых.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: предельное состояние, отпорность, кривая состояний равновесия, характерное перемещение, расчет МКЭ, эксперимент, монотонное нагружение

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Перельмутер А.В. Использование критерия отпорности для оценки предельного состояния конструкции // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 12. С. 1559–1566. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1559-1566

Автор, ответственный за переписку: Анатолий Викторович Перельмутер, AnatolyPerelmutter@gmail.com.

Using the criterion of resistibility to assess of a structural limit state

Anatoly V. Perelmutter

Scientific and Production Company “SCAD Soft”; Kiev, Ukraine

ABSTRACT

Introduction. Subject of research: behaviour characteristics of an arbitrary structure under the loads that approach the limit load value. Goals: development of an objective and sufficiently universal methodology for the identification of the bearing capacity of a structure, which could allow to stop using any subjective assessments of their limit bearing capacity.

Materials and methods. Behaviour characteristics are assessed by analyzing a curve of equilibrium states. The curve is constructed using the characteristic displacement, understood as the generalized displacement q , which energetically matches applied generalized force λ in the sense that the product of λdq is the growth of work performed by generalized force λ in respect of the growth of displacement dq .

Results. The article shows that the system's response, no matter what fixed conditions it is in, is not always sufficient for the assessment of the reliability of the system in case of the variable interaction with the environment. The co-authors use the V.V. Katyushin concept about supplementing the notion of the limit state with the characteristics of the system's behaviour determined by the velocity of a change in the system's response caused by the change in the external action.

According to the co-authors' suggestion, the meter should represent the reduction in the slope of the curve of equilibrium states, which characterizes the loss of resistibility and, consequently, it can be used to assess the closeness of the structure to the state of failure, which arises if the resistibility of the system is equal to zero. The suggestion is to use the value of the slope of the curve of equilibrium states as the limit state, when the resistibility has reduced, and the velocity of deformation intensification has gone up 100 times if compared with the behaviour of an unloaded system. This suggestion is illustrated by the case of the analysis of a reinforced concrete diaphragm of a building.

Conclusions. The proposed calculation methodology can be applied in the design of loadbearing structural elements, whose finite-element computational model has components that are different from the rod ones.

KEYWORDS: limit state, resistibility, curve of equilibrium states, characteristic displacement, FEM calculation, experiment, monotonic loading

FOR CITATION: Perelmuter A.V. Using the criterion of resistibility to assess of a structural limit state. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(12):1559-1566. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1559-1566 (rus.).

Corresponding author: Anatoly V. Perelmuter, AnatolyPerelmuter@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Предельное состояние по критерию потери несущей способности отдельной конструкции или конструктивного комплекса в целом является важнейшей характеристикой проектного решения. Однако четкие правила определения предельного состояния установлены только для стержневых конструкций (точнее, для их сечений), а для конструкций произвольного вида они выявляются на основании детальных расчетов и/или экспериментально.

В расчетах [4–5] и в эксперименте [6–11] предельное состояние конструкций обычно устанавливают, используя главным образом субъективные понятия, такие как «чрезмерные перемещения», «резкий рост деформаций» и другие, основанные на аналогиях, опыте конкретного исследователя и т.д. Естественно, что при таком подходе сложно добиться единого мнения не только в анализе поведения различных конструкций, но и при интерпретации данных одного и того же численного или натурного эксперимента.

Данные проблемы возникают в процессе исследований и расчетов конструкций с выраженными нелинейными свойствами материала (пластичность, ползучесть, нелинейная упругость и т.д.), геометрической или конструктивной нелинейностью и др. Аналогичные вопросы появляются при попытке определения предельного состояния нестержневых конструкций методом конечных элементов, когда разрушение какого-либо одного элемента (и даже нескольких элементов) еще не означает отказа конструкции типа плоской диафрагмы или стены [6].

Цель настоящей работы — построение объективной и достаточно универсальной методики определения предельного значения несущей способности конструкции, которая позволила бы отказаться от субъективных оценок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу подхода положен анализ поведения конструкции при увеличении интенсивности нагружения с использованием энергетического дуализма понятий «нагрузка» и «соответствующее перемещение».

Задачи выявления предельного состояния конструкций, отказ которых не связан с таким четким явлением, как хрупкое разрушение или потеря устойчивости в форме бифуркации, чаще всего решаются путем анализа изменяющегося поведения системы под влиянием роста нагрузки. При этом используется построение зависимости между некоторой компонентой напряженно-деформированного состояния и интенсивностью нагрузки. В частности, это может быть кривая состояний равновесия, связывающая параметр интенсивности нагружения с некоторыми перемещениями, определяющими деформированное состояние системы. Такие кривые часто анализируются в задачах, связанных с нелинейным поведением конструкций, когда рассматривается их деформированное состояние в широком диапазоне интенсивности нагружения, в том числе и в критической области. При этом отслеживается весь путь равновесия анализируемой системы, идентифицируя и проходя через все критические точки.

В данной работе, ориентированной на применение при проектировании строительных конструкций, нас будет интересовать только первая точка, указывающая на отказ (потерю несущей способности). Именно к этой точке относится предельное состояние, которое лимитируется нормами проектирования строительных конструкций.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Одним из ключевых постулатов, положенных в основу метода расчетных предельных состояний, является тезис о том, что из всех возможных технических состояний эксплуатируемой конструкции для анализа отбираются только ее предельные состояния. Предполагается, что поведение системы до или после предельного состояния никак не влияет на суждение о возможности ее эксплуатации (первая группа предельных состояний) или о появлении затруднений в процессе эксплуатации (вторая группа предельных состояний).

Здесь уместно заметить, что реакция системы в каких бы то ни было фиксированных ее состояниях не всегда является достаточной для оценки на-

дежности системы при переменном взаимодействии с внешним миром. Простейший пример дает сопоставление двух систем S_1 и S_2 , графическая иллюстрация которого представлена на рис. 1 в виде зависимости реакции F от интенсивности воздействия P . Сопоставление их запасов прочности при расчетном значении нагрузки P_d отдает преимущество системе S_1 , но даже незначительное увеличение P в системе S_1 приводит к резкому росту реакции, вплоть до ее критического значения, что не наблюдается в системе S_2 .

Отсюда появилось предложение в дополнение к понятию предельного состояния ввести в рассмотрение характеристику поведения системы, которая определяется градиентом реакции системы относительно внешнего воздействия $g = dF/dP$ [12]. Предлагалось иметь значение предельного градиента g_{lim} , величина которого не должна быть превышена при внешнем воздействии P , изменяющемся от нуля до его предельного значения.

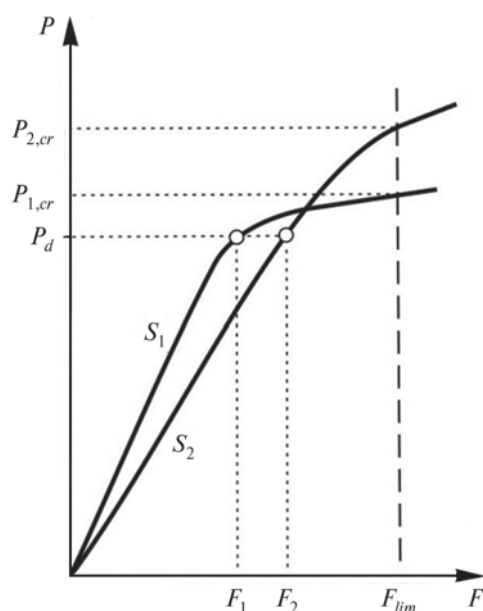


Рис. 1. Сопоставление кривых состояния равновесия

Fig. 1. Equilibrium curves comparison

Нетрудно заметить, что градиент g , который при анализе перемещений имеет размерность «перемещение/нагрузка», характеризует податливость системы, т.е. речь идет о новом предельном состоянии в виде ограничения возможного увеличения податливости системы. Поскольку при отказе системы ее податливость стремится к бесконечности, то удобнее рассматривать не податливость g , а стремящуюся к нулю жесткость систем $1/g = dP/dF$.

По сути, этот подход практически всегда используется при экспериментальных исследованиях работы конструкции, в которых эксперимент останавливается, когда начинается, например, быстрый рост прогибов.

Для реализации предложения о применении понятия предельного поведения требуется ответить на два вопроса:

- какой параметр F поведения системы при возрастании интенсивности нагружения должен контролироваться?
- какой величиной следует ограничить значение падения ее жесткости?

Ниже дается попытка конструирования соответствующих ответов.

2. Одним из наиболее распространенных способов анализа поведения конструкций (в особенности нелинейных) является построение кривой состояний равновесия, связывающей параметр интенсивности нагружения с некоторыми перемещениями, определяющими деформированное состояние системы [13, 14]. Имеются самые разнообразные примеры выбора таких перемещений, используемых при построении кривых состояний равновесия, при этом чаще всего такой выбор ничем не обоснован. Иногда опираются на «интуитивно очевидные» соображения (например, рассматривается прогиб в центре пластины), иногда принимаются те перемещения, которые связаны с наиболее наглядным представлением некоторого ожидаемого результата. Конечно, инженер имеет право рассматривать любой удобный для него кинематический параметр, но все же лучше пользоваться параметрами, для которых твердо установлены общие свойства кривой, отображающей зависимость «параметр перемещения» – «параметр нагружения».

Пусть рассматривается поведение системы, на которую действует нагрузка $P(\lambda)$ с параметром интенсивности нагружения λ , значение которого можно принимать как величину действующей на систему обобщенной силы. Тогда при построении характеристической кривой $\lambda = \lambda(q)$ можно использовать характерное перемещение q , т.е. то обобщенное перемещение, которое энергетически соответствует обобщенной силе λ в том смысле, что произведение λdq дает приращение работы обобщенной силы λ на приращениях перемещения dq [15].

Так, например, для круглой пластины, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой, характерным перемещением является не прогиб в центре, а объем тела, заключенного между изогнутой поверхностью и ее начальной плоскостью. Некоторая потеря наглядности компенсируется тем, что характерная кривая $\lambda = \lambda(q)$ обладает таким, например, свойством, что на устойчивых ветвях равновесной траектории выполняется неравенство $dq/d\lambda \geq 0$. В работе [7] показано, что для кривой состояний равновесия, построенной не для характерного перемещения, это важное свойство может быть нарушено.

В силу энергетической природы характерного перемещения, его использование дает возможность сопоставлять равновесные траектории, соответствующие различным схемам нагружения и различным конструкциям. Кроме того, здесь возможно констру-

ирование достаточно универсальных требований, предъявляемых к характеристикам поведения системы под нагрузкой безотносительно к их конструктивной реализации.

3. Любая несущая конструкция создается в предположении, что она обладает возможностью выполнять свое функциональное назначение и, в частности, обладать достаточным силовым сопротивлением деформированию (достаточной отпорностью). Заметим, что система является отпорной, если при любом ее деформировании изменение потенциальной энергии будет положительным (энергия наращивается, а это значит, что для деформирования системы необходимо затратить работу и, следовательно, система оказывает сопротивление деформированию) [16, с. 332].

Если рассматривается случай простого монотонного нагружения, то степень отпорности системы можно оценить приращением нагрузки, потребным для увеличения характерного перемещения, т.е. степень отпорности характеризуется тангенсом угла наклона кривой состояний равновесия $\lambda = \lambda(q)$.

Уменьшение угла наклона кривой состояний равновесия характеризует потерю отпорности и, следовательно, может быть использовано для оценки близости конструкции к состоянию отказа, которое возникает при нулевой отпорности системы. В качестве нормируемого значения потери отпорности можно, к примеру, принять значение $d\lambda/dq$, которое составляет, например, 0,01 от первоначального значения, когда отпорность уменьшилась, а скорость нарастания деформации увеличилась на два порядка по сравнению с поведением системы в начале нагружения. Естественно, что все это остается справедливым только в случае, когда проверка реализуется в форме однопараметрического монотонного нагружения.

4. В качестве иллюстративного примера рассмотрим поведение плоской железобетонной диафрагмы в виде консольной пластины с размерами 3×12 м и толщиной 0,4 м. На верхней грани конструкции

действует горизонтальная сила, создающая в диафрагме плоское напряженное состояние.

Конечно-элементная расчетная модель (рис. 2) рассчитывалась в вычислительном комплексе SCAD [17], где решалась задача о последовательном нагружении физически нелинейной железобетонной конструкции из бетона В40, армированной сетками с ячейкой 10×10 см из арматурных стержней класса А500 диаметром 10 мм. Методика расчета основывалась на исследовании [2]. На рис. 3 представлена кривая состояний равновесия, из которой видно, как с ростом интенсивности нагружения меняется смещение верха диафрагмы.

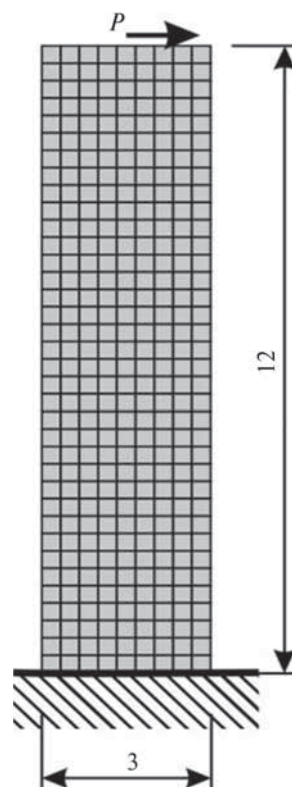


Рис. 2. Расчетная модель

Fig. 2. Design model

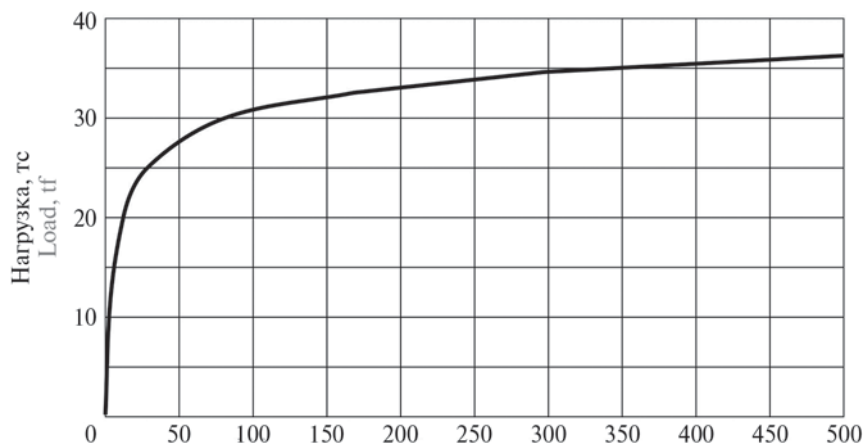


Рис. 3. Характеристическая кривая

Fig. 3. Characteristic curve

Отпорность 1 % от начального значения реализуется при нагрузке, примерно равной 30,2 тс, это можно считать расчетным значением несущей способности рассматриваемой диафрагмы. Состояние конечно-элементной модели конструкции при нагрузке, несколько превышающей ту, которую мы условно приняли за предельную, демонстрирует рис. 4.

Расчет на дальнейшее увеличение нагрузки показал, что положительная определенность матрицы жесткости теряется при нагрузке, примерно равной 36 тс, и система обращается в механизм. Таким об-

разом, упомянутое расчетное значение (30,2 тс) составляет около 85 % от разрушающей нагрузки.

Еще одним примером может служить анализ поведения шарнирно-опертой по контуру плиты размерами в плане $3 \times 4,8$ м и толщиной 0,24 м. Бетон класса В35, арматура класса А240 в виде верхней и нижней сеток с ячейкой 20×20 см из стержней диаметром 10 мм. Кривая состояний равновесия с характерными перемещениями в виде объема тела, заключенного между изогнутой поверхностью плиты и ее начальной плоскостью, приведена на рис. 5.

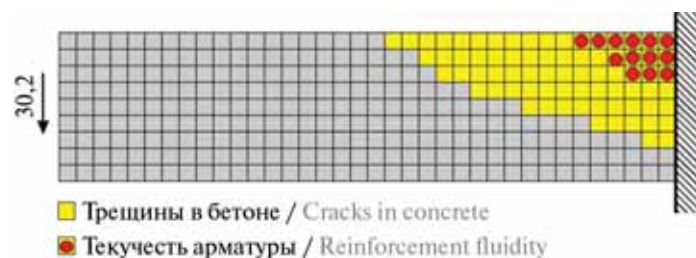


Рис. 4. Диаграмма состояний конечных элементов

Fig. 4. Finite element state diagram

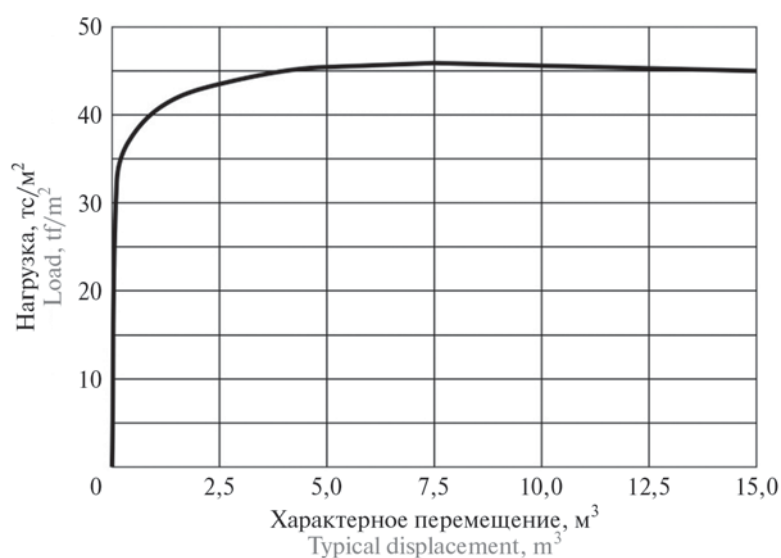


Рис. 5. Характеристическая кривая изгибаемой плиты

Fig. 5. Characteristic curve of the bending plate

Расчет показал, что отпорность плиты исчезает, и система превращается в механизм при нагрузке 46,30 тс/м². Эта величина отличается на 5 % от значения 48,67 тс/м², которое соответствует расчету по предельному равновесию по схеме «конверт» [18–21] (сопоставление деформированного состояния представлено на рис. 6). Отпорность 1 % от начального значения реализуется при нагрузке, примерно равной 43,7 тс/м², это значение составляет около 90 % от разрушающей нагрузки.

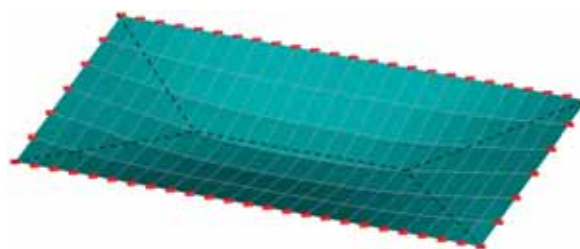


Рис. 6. Деформированное состояние плиты

Fig. 6. Deformed state of the plate

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты представленных примеров говорят о возможности практического использования отпорности конструкции для определения ее расчетной несущей способности. При применении в качестве критерия величины нагрузки, при которой отпорность уменьшается на два порядка по сравнению с первоначальной, наблюдается вполне разумный запас по сравнению с разрушающей нагрузкой.

Предложенная методика расчета может найти применение при проектировании несущих строительных конструкций, конечно-элементная расчетная модель которых содержит компоненты, отличные от стержневых.

С использованием предлагаемого подхода, по-видимому, следует проанализировать поведение некоторых характерных конструктивных решений массового применения, чтобы подтвердить (или уточнить) 1%-ный уровень отпорности в качестве рекомендуемой границы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мануйлов Г.А., Косицын С.Б., Грудцына И.Е. Численный анализ критического равновесия гибкой подкрепленной пластины с учетом влияния начальных геометрических несовершенств // Строительная механика и расчет сооружений. 2020. № 1 (288). С. 30–36.
2. Фиалко С.Ю. Применение метода конечных элементов к анализу прочности и несущей способности тонкостенных железобетонных конструкций с учетом физической нелинейности. М. : СКАД СОФТ; АСВ, 2018. 192 с.
3. Rabczuk T., Belytschko T. Application of particle methods to static fracture of reinforced concrete structures // International Journal of Fracture. 2006. Vol. 137. Issue 1–4. Pp. 19–49. DOI: 10.1007/s10704-005-3075-z
4. Abbas J.K., Al-Shindah M.N. Finite element analysis for bearing capacity of circular footing on geogrid reinforced sand // International Review of Civil Engineering. 2011. Vol. 2. Issue 6. Pp. 316–321.
5. Luo Z., Sinaei H., Ibrahim Z., Shariatit M., Jumaat Z., Wakil K. et al. Computational and experimental analysis of beam to column joints reinforced with CFRP plates // Steel and Composite Structures. 2019. Vol. 30. Issue 3. Pp. 271–280. DOI: 10.12989/scs.2019.30.3.271
6. Бирюлин Ю.Ф., Моцевитин Г.Т., Карпенко Н.И., Балан Т.А., Ярин Л.И. Исследование работы железобетонных балок-стенки // Совершенствование технологии производства и монтажа железобетонных конструкций: сб. науч. тр. НИИ Мосстроя. М., 1980. С. 5–19.
7. Rodleś K., Szarinski A., Nruty A. Analiza konstrukcji 2D z betonu w stanach granicznych dla pręci doraźnych i długotrwałych // Metody Numeryczne w Projektowaniu i Analizie Konstrukcji Hydrotechnicznych; XIII Konferencja Naukowa. Korbiewo, 2001. Pp. 1–10.
8. Xie J., Yan J.-B. Experimental studies and analysis on compressive strength of normal-weight concrete at low temperatures // Structural Concrete. 2018. Vol. 19. Issue 4. P. 1235–1244. DOI: 10.1002/suco.201700009
9. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kaprielov S.S., Demyanov A.I., Bulkin S.A. et al. Results of experimental studies of high-strength fiber reinforced concrete beams with round cross-sections under combined bending and torsion // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. 2020. Vol. 16. Issue 4. Pp. 290–297. DOI: 10.22363/1815-5235-2020-16-4-290-297
10. Xueyu X., Yiqingzi W., Rongjun X., Xuanxing L. Experimental study and theoretical analysis on flexural mechanical properties of reinforced timber beams // Advanced Composites Letters. 2018. Vol. 27. Issue 1. P. 096369351802700. DOI: 10.1177/096369351802700103
11. Świąch Ł. Experimental and numerical studies of low-profile, triangular grid-stiffened plates subjected to shear load in the post-critical states of deformation // Materials. 2019. Vol. 12. Issue 22. P. 3699. DOI: 10.3390/ma12223699
12. Катюшин В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство). М. : АСВ, 2018. 1071 с.
13. Qi Z., Kong X., Wang G. Identifying critical loads of frame structures with equilibrium equations in rate form // Mathematical Problems in Engineering. 2015. Vol. 2015. Pp. 1–17. DOI: 10.1155/2015/325969
14. De Souza L.A.F., Castela E.V., Shirabayash W.V.I., Filho A.A., Machado R.D. Trusses non-linear problems solution with numerical methods of cubic convergence order // TEMA (São Carlos). 2018. Vol. 19. Issue 1. P. 161. DOI: 10.5540/tema.2018.019.01.161
15. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. О характеристической кривой упругой системы // Исследования по теории сооружений. Вып. XXV. М. : Стройиздат, 1987. С. 92–102.
16. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. 4-е изд. М. : Издательство СКАД СОФТ, 2017. 736 с.
17. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Фиалко С.Ю., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++. М. : Изд-во СКАД СОФТ; АСВ, 2015. 848 с.

18. Ржаницын А.П. Предельное равновесие пластинок и оболочек. М.: Наука, 1983. 288 с.

19. Mont'Alverne A.M., Deus E.P., Oliveira Junior S.C., Moura A.S. Determination of the reinforced concrete slabs ultimate load using finite element method and mathematical programming // Latin American Journal of Solids and Structures. 2011. Vol. 9. Issue 1. Pp. 69–93. DOI: 10.1590/S1679-78252012000100004

20. Abdelgadir M., Alasam A. Yield line method applied to slabs with different supports : Thesis submitted in partial fulfilment of requirements for the degree of M.sc. in Structural Engineering. University of Khartoum, 2006. 137 p.

21. Paik J.K. Ultimate Limit State Analysis and Design of Plated Structures. John Wiley & Sons Ltd., 2018. DOI: 10.1002/9781119367758

Поступила в редакцию 26 октября 2021 г.

Принята в доработанном виде 2 декабря 2021 г.

Одобрена для публикации 2 декабря 2021 г.

ОБ АВТОРЕ: **Анатолий Викторович Перельмутер** — доктор технических наук, профессор, иностранный член РААСН, главный научный сотрудник; **Научно-производственное общество «СКАД Софт» (НПО «СКАД Софт»);** Украина, 03037, г. Киев, ул. Освиты, д. 3а; РИНЦ ID: 579863, Scopus: 6602444316; ResearcherID: V-6451-2019, ORCID: 0000-0001-9537-2128; AnatolyPerelmutter@gmail.com.

REFERENCES

1. Manuylov G.A., Kositsyn S.B., Grudtsyna I.E. Numerical analysis critical equilibrium of flexible supported plate with allowance for influence initial geometrical imperfections. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2020; 1(288):30-36. (rus.).

2. Fialko S.Yu. *Application of finite element method to analysis of strength and bearing capacity of thin-walled concrete structures, taking into account the physical nonlinearity*. Moscow, SKAD SOFT; ASV, 2018; 192. (rus.).

3. Rabczuk T., Belytschko T. Application of Particle Methods to Static Fracture of Reinforced Concrete Structures. *International Journal of Fracture*. 2006; 137(1-4):19-49. DOI: 10.1007/s10704-005-3075-z

4. Abbas J.K., Al-Shindah M.N. Finite element analysis for bearing capacity of circular footing on geogrid reinforced sand. *International Review of Civil Engineering*. 2011; 2(6):316-321.

5. Luo Z., Sinaei H., Ibrahim Z., Shariatit M., Jumaat Z., Wakil K. et al. Computational and experimental analysis of beam to column joints reinforced with CFRP plates. *Steel and Composite Structures*. 2019; 30(3):271-280. DOI: 10.12989/scs.2019.30.3.271

6. Birulin Yu.F., Moschevitin G.T., Karpenko N.I., Balan T.A., Yarin L.I. Investigation of the work of reinforced concrete beams-walls. *Improving the technology of production and installation of reinforced concrete structures: Collection of scientific works of NIIMosstroy*. Moscow, 1980; 5-19. (rus.).

7. Rodleś K., Szarinski A., Nruty A. Analiza konstrukcji 2D z betonu w stanach granicznych dla procrów doraznych i długotrwałych. *Metody Numeryczne w Projektowaniu i Analizie Konstrukcji Hydrotechnicznych: XIII Konferencja Naukowa*. Korbiew, 2001; 1-10.

8. Xie J., Yan J.-B. Experimental studies and analysis on compressive strength of normal-weight con-

crete at low temperatures. *Structural Concrete*. 2018; 19(4):1235-1244. DOI: 10.1002/suco.201700009

9. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kapielov S.S., Demyanov A.I., Bulkin S.A. et al. Results of experimental studies of high-strength fiber reinforced concrete beams with round cross-sections under combined bending and torsion. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2020; 16(4):290-297. DOI: 10.22363/1815-5235-2020-16-4-290-297

10. Xueyu X., Yiqingzi W., Rongjun X., Xuanxing L. Experimental study and theoretical analysis on flexural mechanical properties of reinforced timber beams. *Advanced Composites Letters*. 2018; 27(1):096369351802700. DOI: 10.1177/096369351802700103

11. Święch Ł. Experimental and numerical studies of low-profile, triangular grid-stiffened plates subjected to shear load in the post-critical states of deformation. *Materials*. 2019; 12(22):3699. DOI: 10.3390/ma12223699

12. Katyushin V.V. *Buildings with frames made of steel frames of variable cross-section (calculation, design, construction)*. Moscow, ASV, 2018; 1071. (rus.).

13. Qi Z., Kong X., Wang G. Identifying critical loads of frame structures with equilibrium equations in rate form. *Mathematical Problems in Engineering*. 2015; 2015:1-17. DOI: 10.1155/2015/325969

14. De Souza L.A.F., Castela E.V., Shirabayash W.V.I., Filho A.A., Machado R.D. Trusses nonlinear problems solution with numerical methods of cubic convergence order. *TEMA (São Carlos)*. 2018; 19(1):161. DOI: 10.5540/tema.2018.019.01.161

15. Perelmutter A.V., Slivker V.I. On the characteristic curve of an elastic system. *Research on the Theory of Structures, Vol. XXV*. Moscow, Stroyizdat, 1987; 92-102. (rus.).

16. Perelmuter A.V., Slivker V.I. *Calculation models of structures and the possibility of their analysis. 4th ed.* Moscow, Publishing house SKAD SOFT, 2017; 736. (rus.).

17. Karpilovskyi V.S., Kryksunov E.Z., Maliarenko A.A., Fialko S.Y., Perelmuter A.V., Perelmuter M.A. *SCAD Office. Version 21. Computing system SCAD++.* Moscow, ASV, SCAD Soft, 2019; 848. (rus.).

18. Rzhantsyn A.R. *Limit equilibrium of plates and shells.* Moscow, Nauka, 1983; 288. (rus.).

19. Mont'Alverne A.M., Deus E.P., Oliveira Junior S.C., Moura A.S. Determination of the reinforced

concrete slabs ultimate load using finite element method and mathematical programming. *Latin American Journal of Solids and Structures.* 2011; 9(1):69-93. DOI: 10.1590/S1679-78252012000100004

20. Abdelgadir M., Alasam A. *Yield line method applied to slabs with different supports : Thesis submitted in partial fulfilment of requirements for the degree of M.sc. in Structural Engineering.* University of Khartoum, 2006; 137.

21. Paik J.K. *Ultimate Limit State Analysis and Design of Plated Structures.* John Wiley & Sons Ltd., 2018. DOI: 10.1002/9781119367758

Received October 26, 2021.

Adopted in revised form on December 2, 2021.

Approved for publication on December 2, 2021.

BIONOTES: **Anatoly V. Perelmuter** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Foreign member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Chief Researcher; **Scientific and Production Company “SCAD Soft”**; 3a Osvity st., Kiev, 03037, Ukraine; ID RISC: 579863, Scopus: 6602444316, ResearcherID: V-6451-2019, ORCID: 0000-0001-9537-2128; AnatolyPerelmuter@gmail.com.

Impact of the fire on the bearing capacity of the ordinary concrete used in reinforced concrete structures in Burundi. History and architecture

Emmanuel Mikerego, Donatien Nduwimana

University of Burundi; Bujumbura, Burundi

ABSTRACT

Introduction. This paper presents the results of an assessment of the impact of fire on the bearing capacity of the ordinary concrete, to be taken into account in the rehabilitation of fire-damaged reinforced concrete structures in Burundi.

Materials and methods. Experimental samples of the ordinary concrete made respectively of coarse river aggregates and crushed coarse quarry aggregates were prepared and subjected to different heating temperatures (250, 350, 450, 600 and 900 °C) simulating the fire. After natural cooling, experimental samples were subjected to compression test; and diagrams showing the loss of the load-bearing capacity of the ordinary concrete used in reinforced concrete structures in Burundi were drawn.

Results. Negative impact of the fire on the load-bearing capacity of the ordinary concrete occurs above of 350 °C of heating temperature. Concrete made of crushed coarse quarry aggregates loses 50 and 78 % of its bearing capacity at around 525 and 900 °C of heating temperature, respectively. Similarly, concrete made of coarse river aggregates loses 50 and 70 % of its load-bearing capacity respectively at 600 and 900 °C of heating temperature. An evaluation curve of the after-fire bearing capacity of the concrete used in reinforced concrete structures in Burundi is established.

Conclusions. The negative impact of the fire on the load-bearing capacity of the ordinary concrete occurs above of 350 °C of heating temperature. Concretes made of crushed coarse quarry aggregates and concrete made of coarse river aggregates lose 50 % of its bearing capacity at around 525 and 600 °C of heating temperature respectively. Knowing the heating temperature that the fire-damaged reinforced concrete structure has undergone is indispensable in deciding on its demolition or rehabilitation.

KEYWORDS: concrete, fire-damaged structures, rehabilitation of structures in Burundi

FOR CITATION: Mikerego E., Nduwimana D. Impact of the fire on the bearing capacity of the ordinary concrete used in reinforced concrete structures in Burundi. History and architecture. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(12):1567-1572. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1567-1572

Corresponding author: Emmanuel Mikerego, mikeregoemmanuel@hotmail.com.

Влияние пожара на несущую способность обычного бетона железобетонных конструкций в Бурунди. История и архитектура

Эммануэль Микерего, Донатьен Ндувимана

Университет Бурунди; г. Бужумбура, Бурунди

АННОТАЦИЯ

Введение. Представлены результаты оценки влияния пожара на несущую способность обычного бетона, которая будет учитываться при восстановлении поврежденных пожаром железобетонных конструкций в Бурунди.

Материалы и методы. Экспериментальные образцы обычного бетона из крупного речного заполнителя и дробленого крупного карьерного заполнителя были подготовлены и подвергнуты различным температурам нагрева (250, 350, 450, 600 и 900 °C), имитирующим пожар. После естественного охлаждения экспериментальные образцы испытаны на сжатие. Построены диаграммы, показывающие потерю несущей способности обычного бетона, используемого в железобетонных конструкциях в Бурунди.

Результаты. Негативное воздействие огня на несущую способность обычного бетона происходит при температуре нагрева выше 350 °C. Бетон из крупного дробленого карьерного заполнителя теряет 50 и 78 % своей несущей способности при температуре нагрева около 525 и 900 °C соответственно. Аналогично, бетон из крупного речного заполнителя теряет 50 и 70 % несущей способности соответственно при температуре нагрева 600 и 900 °C. Установлена кривая оценки несущей способности после пожара бетона, используемого в железобетонных конструкциях в Бурунди.

Выводы. Установлено, что негативное воздействие огня на несущую способность обычного бетона происходит при температуре нагрева выше 350 °C. Бетон из крупного дробленого карьерного заполнителя и бетон из крупного речного заполнителя теряют 50 % их несущей способности при температурах нагрева около 525 и 600 °C соответственно. Знание температуры нагрева, которой подверглась поврежденная огнем железобетонная конструкция, необходимо для принятия решения о ее сносе или восстановлении.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бетон, поврежденные огнем конструкции, восстановление конструкций в Бурунди

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Микерего Э., Ндувимана Д. Impact of the fire on the bearing capacity of the ordinary concrete used in reinforced concrete structures in Burundi. History and architecture // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 12. С. 1567–1572. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1567-1572

Автор, ответственный за переписку: Эммануэль Микерего, mikeregoemmanuel@hotmail.com.

INTRODUCTION

In recent years, repeated fires have partially or entirely damaged reinforced concrete structures in Burundi. For example, the Ngozi market was damaged by fire four times, in 2000, 2006, 2010, and 2011. The central market in the capital Bujumbura was partially damaged by fire in 2012. The Kayogoro market was entirely damaged by fire in 2011. In 2012, the Kirundo and Rushubi markets were also damaged by fire. Recently, in 2021, the Kamenge market was partially damaged by fire. All these cases of fire-damaged structures only reflect instances that have been brought to public attention. Most of these fire-damaged structures have been rehabilitated. Only the central market in the capital Bujumbura will be demolished, and a new structure will be erected instead of rehabilitation.

This rehabilitation of fire-damaged structures is carried out without evaluation studies of the bearing capacity of the concrete post-fire. Meanwhile, foreign literature shows that concrete subjected to high temperatures loses its bearing capacity. Above 350 °C, the compressive strength of the concrete decrease considerably [1–8]. Various studies show that concrete loses more than 80 % of its compressive strength at around 900 °C. It is known that concrete components influence its behaviour when subjected to high temperatures [9–14]. Different approaches have been used to analyse the properties of concrete subjected to high temperatures [15, 16]. However, the compression test is the most common approach¹ [17, 18]. Some assessments on the fire-damaged structures have also been conducted [19, 20].

However, few studies relate the bearing capacity of fire-damaged concrete to the rehabilitation problem of fire-damaged reinforced concrete structures. Thus, the availability of data on the bearing capacity of fire-damaged concrete constitutes an actual need for the problem of rehabilitation of fire-damaged structures in Burundi.

MATERIALS AND METHODS

The first step in this study was to select the materials for making the 10 cm cubic experimental samples. The sand used came from the Mugere River. The sand's bulk density and absolute density are (1550 kg/m³) and (2500 kg/m³), respectively. The fineness modulus is (2.52 %). The compactness, porosity, and sand equivalent are (62 %), (38 %), and (76 %), respectively. The coarse aggregates used to formulate one-half of the experimental samples were aggregates carried out of the Mugere River,

and the second half of the samples were prepared with coarse aggregates from the Gakungwe quarry site (Fig. 1).

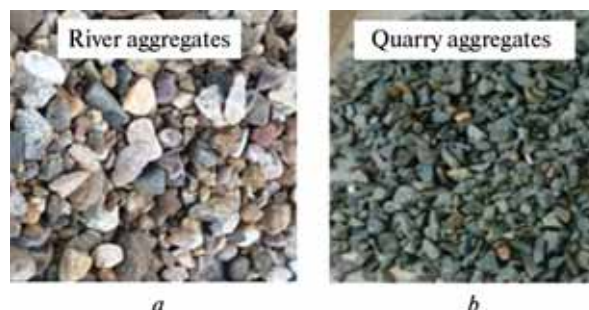


Fig. 1. Coarse aggregates from the Mugere river (a) and coarse quarry aggregates from Gakungwe (b) site in Bujumbura province

For the Mugere river's coarse aggregates, the bulk density and absolute density were (2.12 g/cm³) and (1.50 g/m³), respectively. Furthermore, for the coarse quarry aggregates from the Gakungwe quarry site, the bulk density and absolute density were (2.61 g/cm³) and (1.70 g/m³), respectively. The Los Angeles coefficients were (60 %) and (52 %) respectively, for the coarse aggregate from the Mugere River and the Gakungwe quarry site. The formulated concrete was a standard class concrete [10]. The heating process was carried out in an electrical furnace (Fig. 2).



Fig. 2. Electrical furnace with experimental sample with the door open (a) and the electrical furnace with the closed-door (b)

The heating process took 25 minutes for samples to be heated to 250 °C. For samples to be heated to 350 °C, heating took 70 minutes. For samples to be heated to 450 °C, heating took 90 minutes. Finally, heating the samples to 600 and 900 °C took 120 minutes and 180 minutes, respectively. After each heating process, 90 minutes were spent stabilizing the heating furnace. A series of nine (9) experimental samples were prepared for each heating temperature. The mechanical loading of the samples was conducted on a hydraulic

¹ Eurocode 2. Calcul des structures en béton. Partie 1-2: Règles générales – Calcul du comportement au feu. NF EN 1992; 1-2. Eyrolles, 2005.

press at the laboratory of materials, university of Burundi (Fig. 3).



Fig. 3. Compression test on heated experimental samples

The collected data from the compression tests were compressive strength. The results were compared to the compressive strength of the unheated experimental samples. Obtained results were also compared to the curve of the bearing capacity of fire-damaged concrete, calcu-

lated by the approach described in the European standard “Eurocode 2”¹.

RESULTS AND ANALYSIS OF RESULTS

Obtained results show the significant negative impact of high temperatures on the compressive strength and therefore on the modulus of elasticity also of an ordinary concrete (Fig. 4).

The occurring cracking process, while loading, experimental samples, led to the progressive decrease of the compressive strength of the concrete samples made of the coarse river aggregates under heat (Fig. 5).

The same trend of loss of the bearing capacity was observed for the experimental samples made of crushed coarse quarry aggregates (Fig. 6).

The results obtained show a correlation with the experimental results obtained according to the European standard “Eurocode 2” approach¹ and various researches [21] on the estimation of the compressive strength of concrete subjected to high temperatures (Fig. 7).

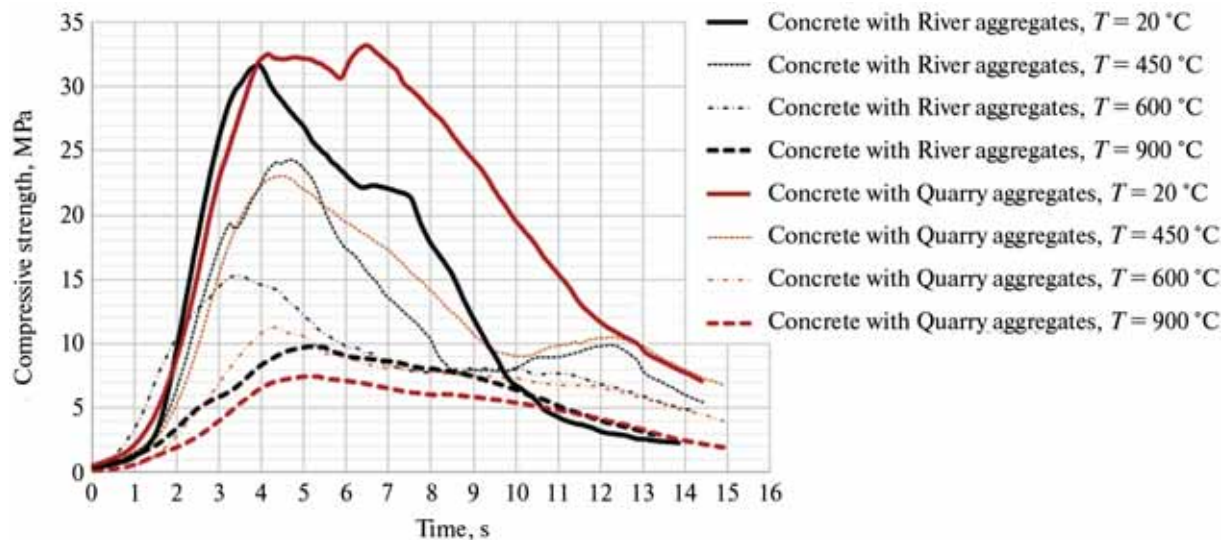


Fig. 4. Some registered diagrams “force-deformation” of samples of an ordinary concrete under axial compression test

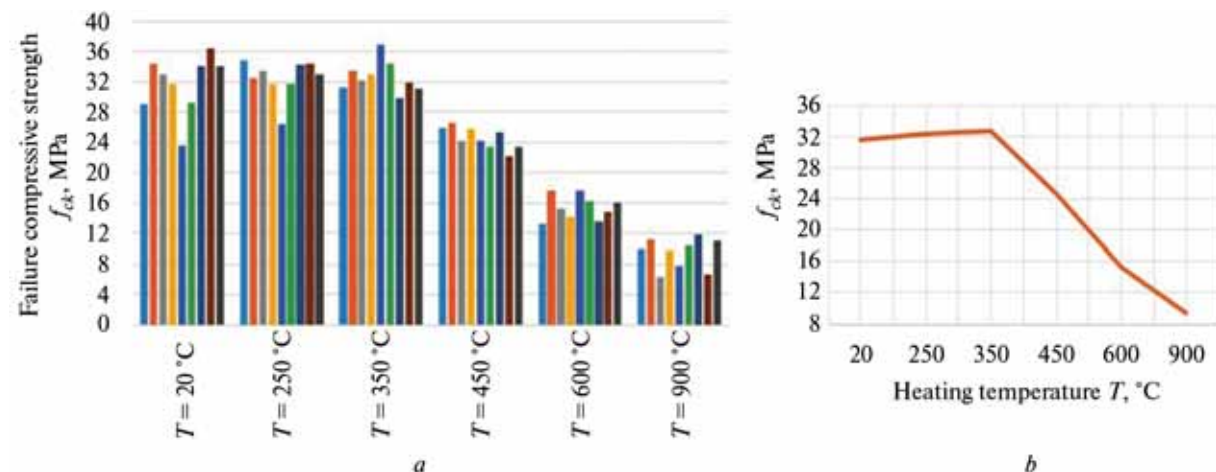


Fig. 5. Failure (a) and the mean curve of the loss (b) of the bearing capacity of the concrete samples made of the coarse river aggregates

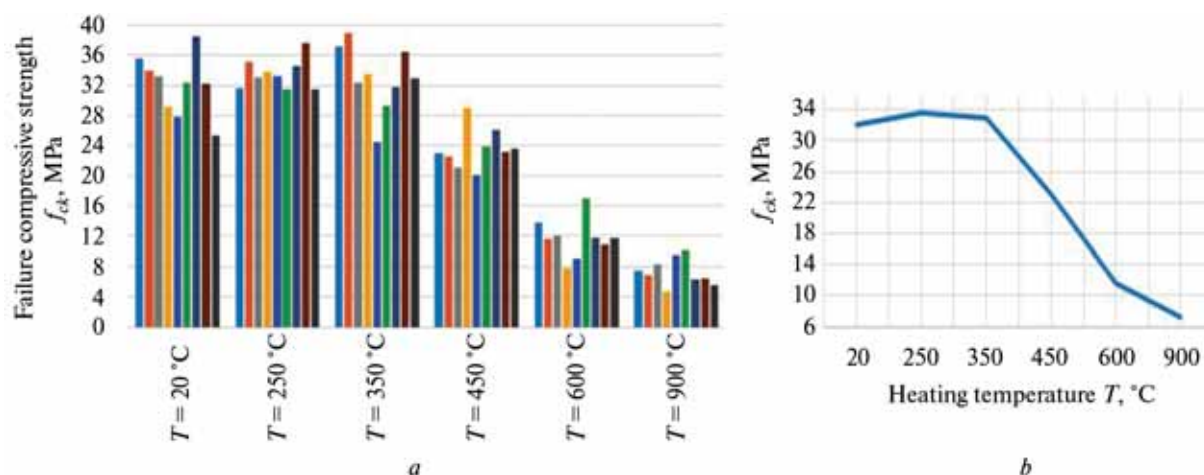


Fig. 6. Failure (a) and the mean curve of the loss (b) of the bearing capacity of the concrete samples made of crushed coarse quarry aggregates

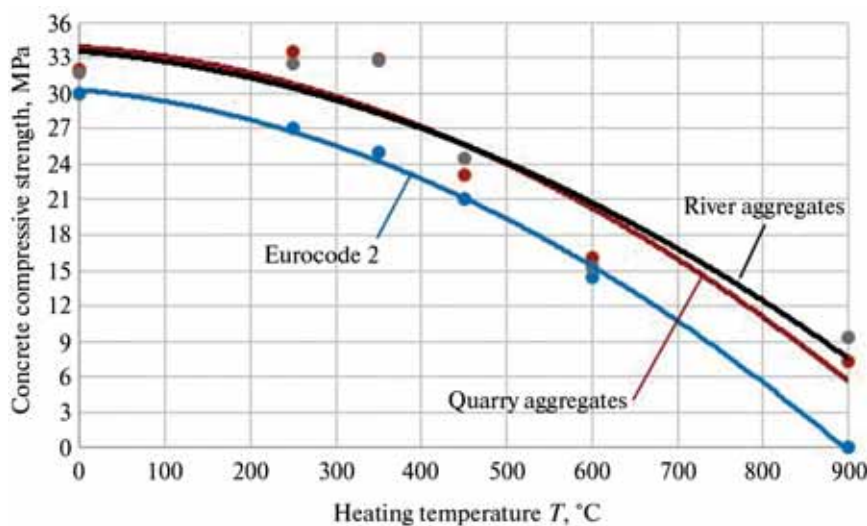


Fig. 7. Correlation between obtained experimental results with these by European standard "Eurocode 2"¹ and various researches [21]

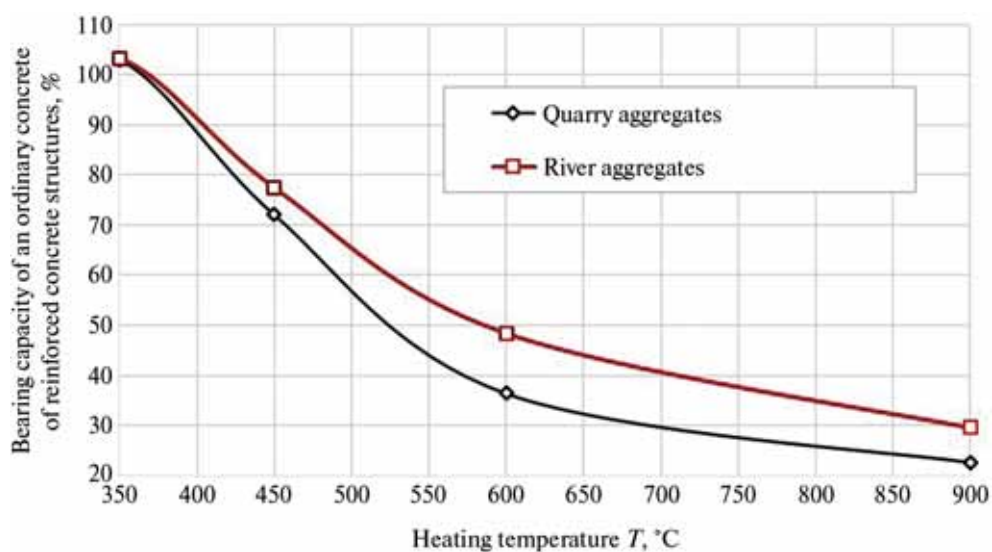


Fig. 8. Bearing capacity of the ordinary concrete subjected to fire, compared to the compressive strength of the ordinary concrete not subjected to fire

Finally, the results show that the compressive strength of concrete is a function of the heating temperature. The bearing capacity of the concrete of fire-damaged reinforced concrete structure is significantly reduced for heating temperatures above 350 °C (Fig. 8).

Here the results (Fig. 8) show that the concrete material made of crushed coarse quarry aggregates loses 50 % of its bearing capacity at around 525 °C of heating temperature, compared to its strength at a room temperature of 20 °C. Moreover, at a temperature of 900 °C, the same crushed coarse quarry aggregate concrete's bearing capacity is around 22 % of the bearing capacity obtained at a room temperature of 20 °C. Similarly, the results show that the concrete made of the coarse river aggregates loses 50 % of its load-bearing capacity at a temperature of 600 °C, compared to its strength at room temperature. Furthermore, at a temperature of 900 °C, the bearing capacity of the same concrete made of coarse river aggregates is around 30 % of the bearing capacity obtained at room temperature.

CONCLUSIONS

The negative impact of the fire on the load-bearing capacity of the ordinary concrete occurs around 350 °C of heating temperature. Concrete made of crushed coarse quarry aggregates loses 50 and 78 % of its bearing capacity at around 525 and 900 °C of heating temperature, respectively. Similarly, concrete made of coarse river aggregates loses 50 and 70 % of its bearing capacity respectively at 600 and 900 °C of heating temperature. An evaluation curve of the after-fire bearing capacity of the concrete used in reinforced concrete structures in Burundi is established. It is established that the concrete made of coarse river aggregates is more resistant than the concrete made of coarse quarry aggregates. Knowing the heating temperature that the fire-damaged reinforced concrete structure has undergone is indispensable in deciding on its demolition or rehabilitation.

REFERENCES / СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Choinska M., Khelidj A., Dufour F., Pijaudier-Cabot G. Etude expérimentale de l'interaction endommagement-température-état de contrainte-perméabilité du béton. *Revue Européenne de Génie Civil*. 2007; 11(6):839-853. DOI: 10.1080/17747120.2007.9692963
2. Bouabdallah M.A. Etude comparative du béton haute performance et un béton ordinaire soumises à un chargement thermomécaniques. *Actes des 6ème Journées de Mécanique de l'Ecole Militaire Polytechnique*. Avril 2008, Bordj El Bahri, Alger. 2008.
3. Tshimanga M.K. *Influence des paramètres de formulation sur le comportement à haute température des bétons*. Thèse de Doctorat, Université de Cergy Pontoise, 2007.
4. Joseph A.A. Residual compressive strength of normal and high strength concrete at elevated temperatures. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2013; 2(6):1744-1751.
5. Kumavat H., Chandak N. Experimental study on behavior of normal strength concrete influenced by elevated temperatures. 2020. *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*. 2020. DOI: 10.1109/ASET48392.2020.9118294
6. Bastami M., Aslani F., Omran M.E. High-temperature mechanical properties of concrete. *International Journal of Civil Engineering*. 2010; 8(4):337-351.
7. Tufail M., Shahzada K., Gencturk B., Wei J. Effect of elevated temperature on mechanical properties of limestone, quartzite and granite concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2017; 11(1):17-28. DOI: 10.1007/s40069-016-0175-2
8. Bingöl A.F., Gül R. Effect of elevated temperatures and cooling regimes on normal strength concrete. *Fire and Materials*. 2009; 33(2):79-88. DOI: 10.1002/fam.987
9. Hachemi S., Ounis A. L'influence de la nature du sable sur les propriétés physiques et mécaniques du béton soumis à haute température. *Courrier du Savoir*. 2017; 24. URL: www.researchgate.net/publication/318430636
10. Dreux G., Festa J. *Nouveau guide du béton et de ses constituants*. Eyrolles, Paris, France, 1998.
11. Luccioni B.M., Figueroa M.I., Danesi R.F. Thermo-mechanic model for concrete exposed to elevated temperatures. *Engineering Structures*. 2003; 25(6):729-742. DOI: 10.1016/S0141-0296(02)00209-2
12. Oyelade A.O., Odegbaro D.O., Fapohunda C.A. Effect of elevated temperature on the compressive strength of concrete produced with pulverized steel mill scale. *Nigerian Journal of Technology*. 2018; 36(4):1030. DOI: 10.4314/njt.v36i4.6
13. Abdulkareem O.M., Ahmad A.H. Effect of high temperature on mechanical properties of concrete containing admixtures. *Al-Rafidain Engineering*. 2010; 18(4):43-54. DOI: 10.33899/rengj.2010.31523
14. Short N.R., Purkiss J.A., Guise S.E. Assessment of fire damaged concrete using colour image analysis. *Construction and Building Materials*. 2001; 15(1):9-15. DOI: 10.1016/S0950-0618(00)00065-9
15. Short N.R., Purkiss J.A., Guise S.E. Assessment of fire-damaged concrete using crack density measurements. *Structural Concrete*. 2002; 3(3):137-143. DOI: 10.1680/stco.3.3.137.38957
16. Khoury G.A. Compressive strength of concrete at high temperatures: a reassessment. *Magazine of Concrete Research*. 1992; 44(161):291-309. DOI: 10.1680/mac.1992.44.161.291

17. Shang X., Lu Z. Impact of high temperature on the compressive strength of ECC. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2014; 2014:1-7. DOI: 10.1155/2014/919078

18. Albrektsson J., Flansbjer M., Lindqvist J.E., Jansson R. Assessment of concrete structures after fire. *SP report 2011:19*. 2011.

19. Engin R.M., Mata L.A., Dilek U. An analytical model for estimating load-test deflections in fire-damaged

precast, prestressed concrete members. *Pci Journal*. 2009; 54(3):129-142. DOI: 10.15554/pci.06012009.129.142

20. Kodur V.K.R. *Tenue au feu des éléments de structure en béton haute résistance*. Institut de recherche en construction IRC. Canada, 1999.

21. Abrams M. *Compressive strength of concrete at temperatures to 1600F*. Michigan, American Concrete Insitute (ACI) SP 25, 1971. DOI: 10.14359/17331

Received November 9, 2021.

Adopted in revised form on December 21, 2021.

Approved for publication on December 21, 2021.

B I O N O T E S : **Emmanuel Mikerego** — Candidate of Technical Sciences, Lecturer of the Faculty of Engineering Sciences; **University of Burundi**; B.P 2700, Bujumbura, Burundi; ORCID: 0000-0002-5743-6476; mikeregoemmanuel@hotmail.com;

Donatien Nduwimana — master student; **University of Burundi**; B.P 2700, Bujumbura, Burundi; nduwdon@gmail.com.

Contribution of the authors:

E. Mikerego — conceptualization, methodology, data processing, writing of the article, scientific editing of the text.

D. Nduwimana — methodology, data gathering and processing.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 9 ноября 2021 г.

Принята в доработанном виде 21 декабря 2021 г.

Одобрена для публикации 21 декабря 2021 г.

О Б А В Т О Р А Х : **Эммануэль Микерего** — кандидат технических наук, преподаватель факультета инженерных наук; **Университет Бурунди**; В.Р 2700, г. Бужумбура, Бурунди; ORCID: 0000-0002-5743-6476; mikeregoemmanuel@hotmail.com;

Донатъен Ндувимана — студент магистратуры; **Университет Бурунди**; В.Р 2700, г. Бужумбура, Бурунди; nduwdon@gmail.com.

Вклад авторов:

Э. Микерего — концептуализация, методология, обработка данных, написание статьи, научное редактирование текста.

Д. Ндувимана — методология, сбор и обработка данных.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.3

DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1573-1581

Особенности повторного использования цементных суспензий при реализации технологии рециклинга бетонных смесей

Светлана Васильевна Самченко¹, Егор Сергеевич Егоров^{1,2},

Михаил Андреевич Абрамов²

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

² *Ярославский государственный технический университет (ЯГТУ); г. Ярославль, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Внедрение технологий рециклинга позволяет решить проблему перенасыщения отходами полигонов. При рециклинге бетонных смесей не до конца решенным вопросом остается использование гидратированных цементных суспензий, обладающих гидравлической активностью. Добавка такой суспензии непосредственно оказывает влияние на технологические и механические характеристики новых смесей.

Материалы и методы. Цементная суспензия, получаемая после рециклинга, моделировалась предварительно гидратированным в течение шести часов цементом при В/Ц, равном 0,7. Исследовались различные составы цементных композиций с применением добавки гидратированного цемента. Отличием составов было различное количество введенной добавки предварительно гидратированного цемента, а также наличие или отсутствие пластификатора. Технологические свойства, а именно нормальная густота и сроки схватывания цементных композиций, исследовались стандартными методиками ГОСТ 30744-2001. Механические свойства (прочность на сжатие в возрасте 28 суток) определялись разрушающим методом на малых образцах на гидравлическом прессе ПСУ-10.

Результаты. Введение предварительно гидратированной суспензии вызывает увеличение нормальной густоты, сокращение сроков схватывания и снижение прочности с увеличением ее количества. Использование такой суспензии совместно с суперпластификатором позволяет нивелировать увеличение нормальной густоты, а также повысить прочность образцов. Сроки схватывания при применении комплексной добавки остались аналогичными результатам испытания без пластификатора.

Выводы. Результаты исследования дают возможность судить о влиянии цементных суспензий, полученных после рециклинга, на технологические и механические характеристики новых смесей. Изученное влияние исследуемой добавки необходимо учитывать при проектировании новых бетонов и растворов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: рециклинг, цементная суспензия, добавки в бетоны, сроки схватывания, нормальная густота, прочность на сжатие

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: 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. Вып. 12. С. 1573–1581. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1573-1581

Автор, ответственный за переписку: Егор Сергеевич Егоров, egorovs_ystu@mail.ru.

Features of using cement suspension in concrete mixture recycling technology

Svetlana V. Samchenko¹, Egor S. Egorov^{1,2}, Mihail A. Abramov²

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

² *Yaroslavl State Technical University (YSTU); Yaroslavl, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. Recycling technologies may solve the problem of landfill waste. The problem of hydraulic active cement waste using not fully resolved in concrete mixtures recycling technologies. Using hydraulic active cement waste as an addition directly influences the technological and mechanical characteristics of new concrete mixtures. That requires additional research.

Materials and methods. The cement waste obtained after recycling was simulated by pre-hydrated cement suspension produce at V/C equal to 0.7 for 6 hours of hydration. Different compositions of cement mixtures were investigated. The difference of which was amount of introduced pre-hydrated cement additive, both in the presence and without plasticizer. Technological properties, namely the normal consistency and setting time of cement compositions were investigated by

standard methods of GOST 30744-2001. Mechanical properties, namely the compressive strength at the age of 28 days, were determined by destructive method on a hydraulic press PSU-10.

Results. The introduction of a pre-hydrated suspension causes an increase in normal consistency, a reduction in the setting time and a decrease in strength with an increase in its quantity. The use of such a suspension in conjunction with a super-plasticizer can level out the increase in normal density, as well as increase the strength of the samples. Timing of setting remained similar to the results of the test without the plasticizer.

Conclusions. The results of the study show influences of cement waste obtained after recycling on the technological and mechanical characteristics of new mixtures. These influences are important and must be taken into account in the design of new concretes and mortars.

KEYWORDS: recycling, cement suspension, concrete admixtures, setting time, normal density, compressive strength

FOR CITATION: 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.).

Corresponding author: Egor S. Egorov, egoroves_ystu@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных строительных материалов является бетон. Бетон — это затвердевшая бетонная смесь, которую приготавливают в стационарных или передвижных бетоносмесительных узлах, а также транспортируют с помощью автобетоносмесителей. При перемешивании смеси в таких устройствах, ввиду их не совершенности, происходит налипание части смеси на стенках емкостей, а при выгрузке смеси из-за адгезии или особенностей конструкции невозможно полное (100 %) опорожнение емкости. Часть бетонной смеси остается не использованной, переходя в статус отхода. Эти отходы по Федеральному классификационному каталогу¹ — малоопасные, но вследствие объемов² [1] производства бетонной смеси вопрос утилизации представляется весьма важным. Данные отходы нельзя смывать в процессе мойки емкостей, так как высокая pH смеси, ее гидравлическая активность и наличие химических добавок отрицательно сказываются на свойствах почв. В связи с этими проблемами технологии рециклинга, т.е. технологии возврата отходов в цикл производства материалов и изделий, востребованы. Их применение — основополагающее при реализации принципов устойчивого развития в строительной отрасли. Современные технологии рециклинга [2–5] представляют собой просеивание через систему сит с выде-

лением крупного, мелкого заполнителей и цементного шлама (суспензии). Крупный и мелкий заполнители после такой системы используются повторно при приготовлении новых смесей без побочного эффекта. Ввиду гидравлической активности гидратированных частиц цемента и изменений в его фазовом и фракционном составе, применение суспензии будет непосредственно влиять на физико-механические и технологические свойства приготовляемых бетонных смесей и бетонов. Для разработки полноценной технологии рециклинга необходимо изучить эти особенности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования использовался цемент марки 500 Д0 (СЕМ I 42,5 Н) АО «Подольск-Цемент». Химический и минералогический состав клинкера представлен в табл. 1, 2.

С целью моделирования цементной суспензии, получаемой в результате рециклинга бетонов, применялась предварительно гидратированная цементная суспензия или добавка (ПД), которая в то же время по своему составу является минеральной добавкой. При промывке автобетоносмесителей используется обильное количество воды, поэтому изготовление предварительно гидратированной цементной суспензии заключалось в смешивании цемента с водой при водоцементном отношении 0,7.

В качестве суперпластификатора использовался поликарбоксилатный пластификатор DKG-604.

Исследовались следующие составы.

Контрольный состав, изготовленный из цемента М500 Д0 и воды. Составы, отличающиеся от кон-

¹ Федеральный классификационный каталог отходов : утв. приказом Росприроднадзора с последним доп. от 22.05.2017. URL: <http://www.fcao.ru/fkko>

² О промышленном производстве в 2020 году. URL: https://www.gks.ru/bgd/free/B04_03/IssWWW.exe/Stg/d02/8.htm

Табл. 1. Химический состав клинкера АО «Подольск-Цемент»

Table 1. Chemical composition of clinker of JSC “Podolsk-Cement”

Компоненты Components	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	R ₂ O	Потери при прокаливании Calcination losses
Клинкер Clinker	62,75	20,10	4,56	8,72	1,99	0,57	1,58	0,92

трольного тем, что затворение осуществляли водой с минеральной добавкой — предварительно гидратированным в течение 6 часов цементом в количестве 5, 10, 15 и 30 % от массы цемента на образец, маркированы как ПГД6 5 %, ПГД6 10 %, ПГД6 15 %, ПГД6 30 %. Составы, отличающиеся от ПГД6 5 %, ПГД6 10 %, ПГД6 15 %, ПГД6 30 %, использованием в комплексе с предварительно гидратированным цементом суперпластификатора в количестве 0,7 % от массы предварительно гидратированного цемента, маркированы как ПГД6 5 % (пл), ПГД6 10 % (пл), ПГД6 15 % (пл), ПГД6 30 % (пл). Дозирование компонентов всех составов проводилось в пересчете на сухое вещество.

Табл. 2. Минералогический состав клинкера АО «Подольск-Цемент»

Table 2. Mineralogical composition of clinker of JSC “Podolsk-Cement”

Содержание минералов, % Mineral content, %			
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
60,00	12,00	3,00	21,00

Одна из основных технологических характеристик цемента — его водопотребность, выражаемая нормальной густотой. Так же немаловажными технологическими характеристиками служат сроки схватывания. Установление нормальной густоты и сроков схватывания производилось по стандартной методике, изложенной в ГОСТ 30744-2001.

Механические характеристики определялись испытанием на сжатие образцов цементной пасты размерами 20 × 20 × 20 мм, изготовленных из теста нормальной густоты в возрасте 28 суток нормально-го твердения на гидравлическом прессе ПСУ-10. За прочность принимался средний показатель из трех испытаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате исследования нормальной густоты (рис. 1, а) выявлено, что с увеличением количества предварительно гидратированного цемента повышается нормальная густота. Это объясняется тем, что в итоге гидратации происходят качественные и количественные изменения фракционного и фазового состава. Согласно предыдущим исследованиям, в результате затворения цемента водой происходит гидролиз минералов, что влечет за собой увеличение дисперсности частиц и, следовательно, увеличение удельной поверхности [6]. По прошествии шести часов начинается третий этап гидратации, именуемый этапом ускорения. В этот момент начинается рост кристаллов и их агрегация, что физически проявляется схватыванием цемента. При добавлении таких частиц в свежий раствор отмечается затруднение взаимного перемещения частиц и слипание их

между собой. Увеличение водопотребности для образцов ПГД6 5 %, ПГД6 10 %, ПГД6 15 % и ПГД6 30 % составило 12, 19, 26 и 49 % соответственно. Увеличение водопотребности смеси так же наблюдалось у других исследователей [7]. Использование суперпластификатора позволило снизить водопотребность во всем диапазоне варьирования количества добавки. Для образцов ПГД6 5 % (пл), ПГД6 10 % (пл), ПГД6 15 % (пл) и ПГД6 30 % (пл) увеличение водопотребности составило 7, 13, 17 и 29 % соответственно. Снижение водопотребности объясняется применением суперпластификатора, принцип действия которого заключается в сообщении цементным частицам одноименного заряда, в результате чего возникает электростатическое и стерическое (пространственное) отталкивание, способствующее разжижению смеси.

Ввиду очевидного родства минеральной добавки к цементу, логичным действием является сравнение влияния водотвердого отношения составов из теста нормальной густоты от количества ПГД (рис. 1, б). Согласно этому графику, использование совместно с гидратированными цементными частицами суперпластификатора позволяет нивелировать увеличение водопотребности. Было достигнуто снижение водотвердого отношения теста нормальной густоты на 3 % от контрольного образца при использовании комплексной добавки на основе ПГД6 30 % (пл). Это снижение объясняется увеличением количества суперпластификатора в составе комплексной добавки.

В результате измерения сроков схватывания (рис. 2) установлено, что составы, полученные с применением предварительно гидратированных цементных частиц, начинают схватываться раньше контрольного. При том, чем больше количество этой добавки, тем раньше наступает начало и конец схватывания. Смещение начала схватывания составило 16, 33, 36, 45 мин для составов ПГД6 5 %, ПГД6 10 %, ПГД6 15 %, ПГД6 30 % соответственно.

Комплексная добавка (рис. 3) показала аналогичный результат — ускорение начала и конца схватывания. Смещение начала схватывания составило 3, 23, 37, 41 мин для составов ПГД6 5 % (пл), ПГД6 10 % (пл), ПГД6 15 % (пл), ПГД6 30 % (пл) соответственно. Более раннее начало и конец схватывания объясняется тем, что ПГД находится на этапе агрегации (коагуляции) раствора, что выражается в формировании первичного каркаса прочности, т.е. схватывании. Добавление ПГД в цемент, видимо, вызывает более быстрое пресыщение раствора ионами и вследствие этого раннее начало коагуляции [8–10], в результате чего индукционный период получаемой цементной пасты сокращается. Ускорение сроков схватывания подтверждается в ряде исследований [3, 11–14].

Стоит отметить, что продолжительность схватывания (разница в минутах между окончанием и началом схватывания) для всех измеряемых образцов составила около 80 мин.

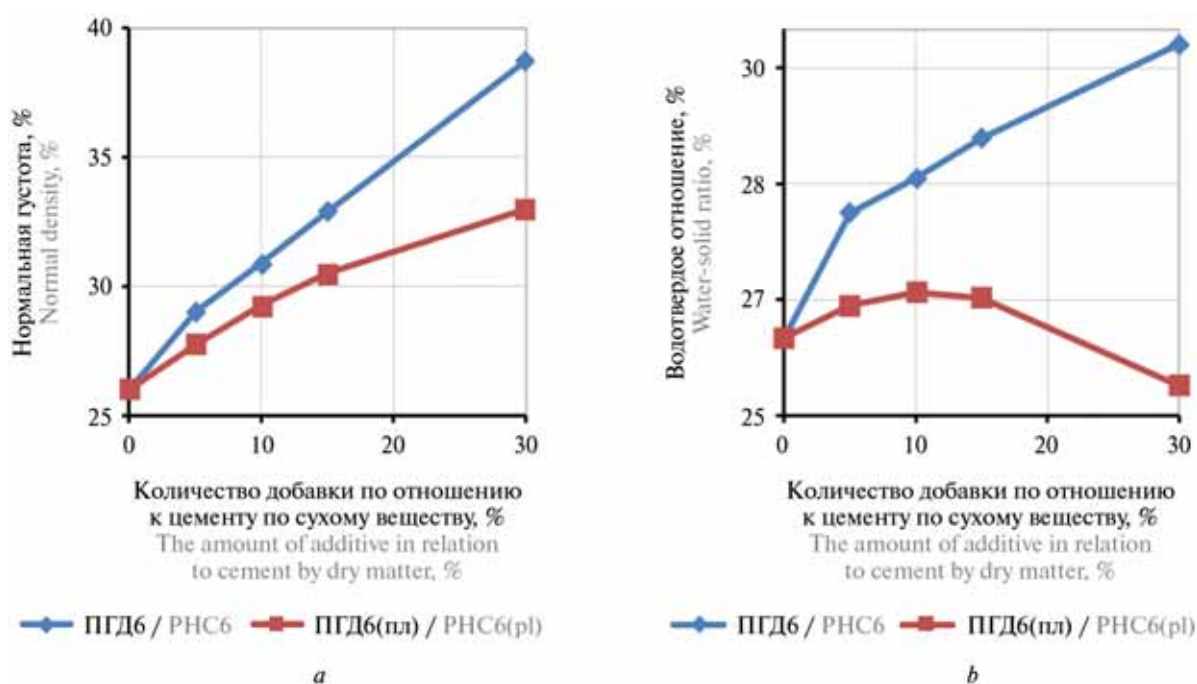


Рис. 1. Нормальная густота (а); водотвердое отношение цементной пасты при нормальной густоте (b)

Fig. 1. Normal density (a); water-solid ratio of cement paste at normal density (b)

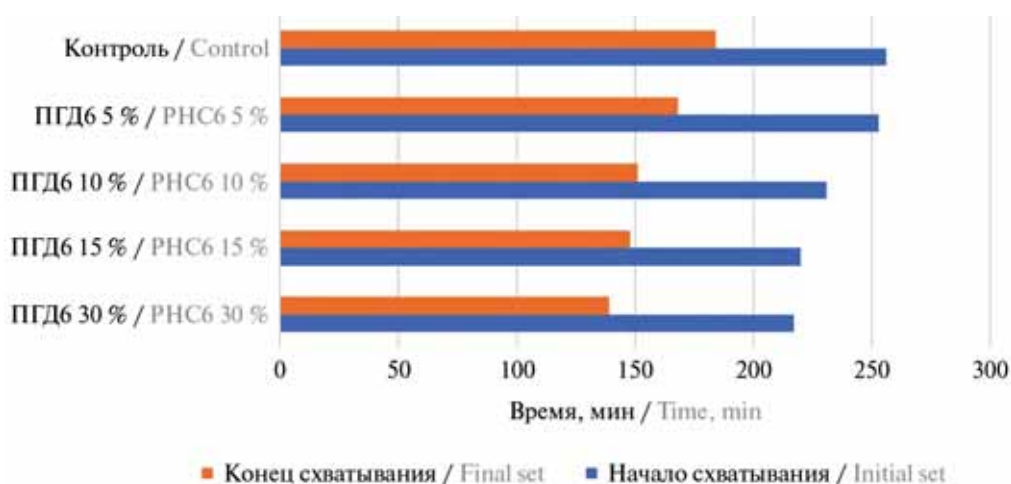


Рис. 2. Сроки схватывания составов с применением ПГД

Fig. 2. The setting time of the compositions with the pre-hydrated admixture

Снижение прочности объясняется увеличением количества воды затворения, которое приводит к росту капиллярной пористости, образующейся при испарении воды в процессе твердения. Так же снижение прочности может быть вызвано тем, что каркас, формирующийся с помощью частиц ПГД, менее прочен ввиду неоднократного разрыва возникающих на начальных этапах гидратации связей. Снижение прочности согласуется с результатами других исследователей [3].

В результате исследования механических характеристик установлено, что применение ПГД6 приводит к снижению прочности пропорционально увеличению количества предварительно гидратированных

частиц. Снижение прочности образцов на основе ПГД6 5 %, ПГД6 10 %, ПГД6 15 % и ПГД6 30 % в возрасте 28 сут составило 5, 8, 13 и 15 % соответственно (рис. 4).

Использование комплексной добавки при получении цементной пасты показало обратный эффект. В результате рассмотрения механических характеристик установлено, что применение ПГД6 (пл) приводит к повышению прочности пропорционально увеличению количества предварительно гидратированных частиц. Повышение прочности образцов на основе ПГД6 5 % (пл), ПГД6 10 % (пл), ПГД6 15 % (пл) и ПГД6 30 % (пл) в возрасте 28 сут составило 7, 16, 32 и 38 % соответственно (рис. 5).



Рис. 3. Сроки схватывания составов с применением комплексной добавки

Fig. 3. Setting time of compositions with the complex additive

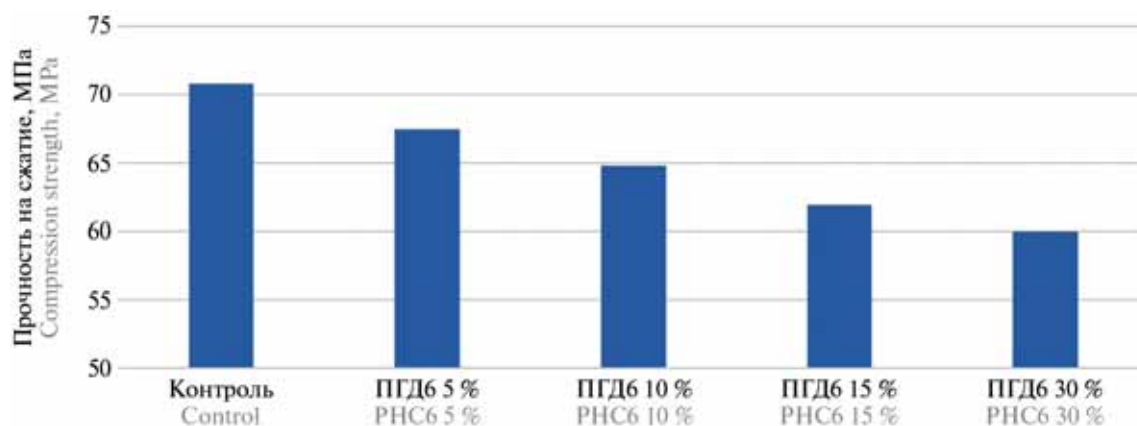


Рис. 4. Механические характеристики образцов цементной пасты

Fig. 4. Mechanical characteristics of cement paste samples with the pre-hydrated admixture

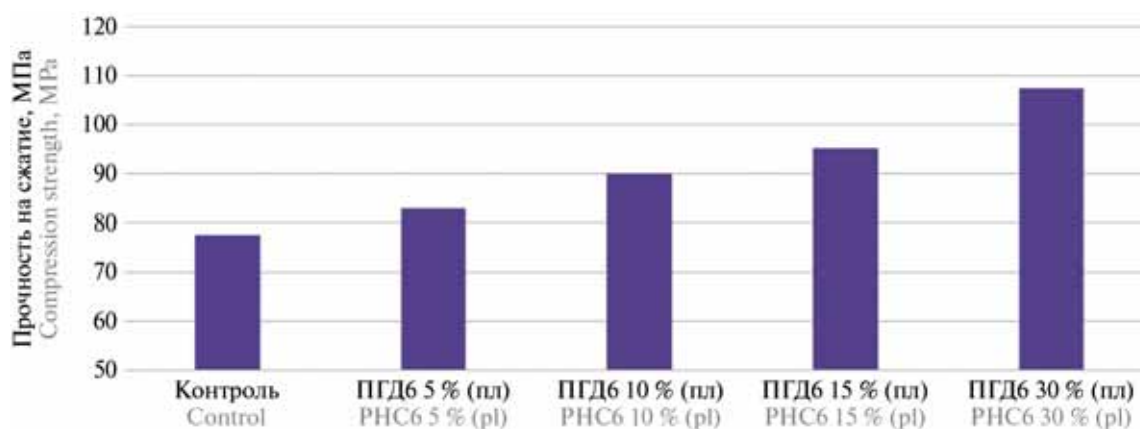


Рис. 5. Механические характеристики образцов цементной пасты, изготовленных с применением комплексной добавки

Fig. 5. Mechanical characteristics of cement paste samples made with the use of a complex additive

Рост прочности объясняется снижением количества воды затворения, что выражается в формировании более плотной структуры цементного камня.

Известно, что адсорбция суперпластификатора происходит на гидратных образованиях [15]. В первые часы гидратации адсорбция на частицы С3S мала и резко возрастает после 5 часов. Резкое увеличение адсорбции связано с диспергацией и образованием большого количества продуктов гидратации. В отличие от С3S адсорбция на алюминатные фазы резко возрастает через несколько секунд после затворения [16].

Из этих фактов можно сделать вывод, что рост прочности так же связан с повышением эффективности суперпластификатора ввиду наличия как продуктов гидратации С3S в добавке гидратированного цемента, так и алюминатной фазы обычного цемента непосредственно в момент затворения и смешивания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение нормальной густоты и сроков схватывания при использовании ПГД или комплексной добавки следует учитывать при проектировании составов бетонных и растворных смесей.

Изменение нормальной густоты составило 12, 19, 26 и 49 % при использовании ПГД6 5 %, ПГД6 10 %, ПГД6 15 % и ПГД6 30 % соответственно.

Применение комплексной добавки позволяет снизить увеличение нормальной густоты почти в 2 раза. Изменение нормальной густоты составило 7, 13, 17 и 29 % при использовании ПГД6 5 % (пл),

ПГД6 10 % (пл), ПГД6 15 % (пл) и ПГД6 30 % (пл) соответственно.

При учетывании родства добавки и цемента использование комплексной добавки дает возможность нивелировать увеличение водопотребности (при сравнении водотвердого отношения).

Введение предварительно гидратированной добавки приводит к сокращению сроков схватывания. Начало схватывания наступило на 16, 33, 36, 45 мин раньше для составов ПГД6 5 %, ПГД6 10 %, ПГД6 15 %, ПГД6 30 % соответственно.

Введение комплексной добавки показало аналогичный результат. Смещение начала схватывания составило 3, 23, 37, 41 мин для составов ПГД6 5 % (пл), ПГД6 10 % (пл), ПГД6 15 % (пл), ПГД6 30 % (пл) соответственно.

Введение ПГД в цементное тесто продемонстрировало снижение прочности образцов. Для образцов на основе ПГД6 5 %, ПГД6 10 %, ПГД6 15 % и ПГД6 30 % в возрасте 28 сут снижение составило 5, 8, 13 и 15 % соответственно.

При введении комплексной добавки в цементное тесто отмечалось повышение прочности образцов. Для образцов на основе ПГД6 5 % (пл), ПГД6 10 % (пл), ПГД6 15 % (пл) и ПГД6 30 % (пл) в возрасте 28 сут наблюдался рост 7, 16, 32 и 38 % соответственно.

Перспективным развитием исследования является изучение активированной предварительно гидратированной цементной суспензии, которое может позволить восстановить активность прогидратировавшего цемента, а также повлиять на ряд физико-механических свойств бетона, таких как морозостойкость, прочность [17–20].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Chini A., Mbwanbo W.J. Environmentally friendly solutions for the disposal of concrete wash water from ready mixed concrete operations // CIB W89 Beijing International Conference. 1996. Pp. 21–24.
2. Остроух А.В., Суркова Н.Е. Система рециклинга товарного бетона // Лучшая научная статья 2017 : сб. ст. XII Междунар. науч.-практ. конкурса. 2017. С. 21–24.
3. Корниенко П.В., Горшкова Л.В., Гакиштер Г.В. К вопросу применения отходов переработки бетонных смесей в рециклинговых установках // Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. 2016. С. 135–137.
4. Касторных Л.И., Трищенко И.В., Гикало М.А. Эффективность системы рециклинга на заводах товарного бетона и сборного железобетона // Строительные материалы. 2016. № 3. С. 36–39.
5. Vieira L.D.B.P., de Figueiredo A.D. Evaluation of concrete recycling system efficiency for ready-mix concrete plants // Waste Management. 2016. Vol. 56. Pp. 337–351. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.07.015
6. Scrivener K.L., Nonat A. Hydration of cementitious materials, present and future // Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41. Issue 7. Pp. 651–665. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.03.026
7. Zervaki M., Leptokaridis C., Tsimas S. Reuse of by-products from ready-mixed concrete plants for the production of cement mortars // Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. 2013. Vol. 1. Issue 2. Pp. 152–162. DOI: 10.13044/j.sdewes.2013.01.0011
8. Аянов У.А., Бумм Ю.М. Твердение вяжущих с добавками-интенсификаторами. Алма-Ата : Наука, 1978. 256 с.
9. Kumar A., Bishnoi S., Scrivener K.L. Modelling early age hydration kinetics of alite // Cement and Concrete Research. 2012. Vol. 42. Issue 7. Pp. 903–918. DOI: 10.1016/j.cemconres.2012.03.003
10. Nicoleau L., Nonat A. A new view on the kinetics of tricalcium silicate hydration // Cement and Concrete

Research. 2016. Vol. 86. Pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.cemconres.2016.04.009

11. Klus L., Václavík V., Dvorský T., Svoboda J., Papesch R. The utilization of waste water from a concrete plant in the production of cement composites // Buildings. 2017. Vol. 7. Issue 4. P. 120. DOI: 10.3390/buildings7040120

12. Asadollahfardi G., Asadi M., Jafari H., Moradi A., Asadollahfardi R. Experimental and statistical studies of using wash water from ready-mix concrete trucks and a batching plant in the production of fresh concrete // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 98. Pp. 305–314. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.053

13. Gebremichael N.N., Karein S.M.M., Karakouzian M., Jadidi K. Investigation of setting time and compressive strength of ready-mixed concrete blended with returned fresh concrete // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 197. Pp. 428–435. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.201

14. Красникова Н.М., Морозов Н.М., Казанцева А.С. О возможности использования шлама переработки бетонных отходов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. Т. 3. № 3 (33). С. 121–126.

15. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. 2-е изд. М.: Технопроект, 1998. 768 с.

16. Ramachandran V.S. Influence of superplasticizers on the hydration of cement // 3rd International Congress on Polymers in Concrete. Koriyama, Japan, 1981. Pp. 1071–1081.

17. Федюк Р.С., Мочалов А.В., Лесовик В.С. Современные способы активации вяжущего и бетонных смесей (обзор) // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2018. Т. 4. № 37. С. 85–99. DOI: 10.5281/zenodo.2008670

18. Ибрагимов Р.А., Пименов С.И. Влияние механохимической активации на особенности процессов гидратации цемента // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 2 (62). С. 3–12. DOI: 10.5862/MCE.62.1

19. Ибрагимов Р.А., Пименов С.И., Изотов В.С. Влияние механохимической активации вяжущего на свойства мелкозернистого бетона // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 2 (54). С. 63–69. DOI: 10.5862/MCE.54.7

20. Машкин Н.А., Молчанов В.С., Зибницкая Н.Е., Петров И.И. Активирование цементного вяжущего в технологии тяжелого и ячеистого бетона для транспортного строительства // Вестник Тувинского государственного университета. Выпуск 3. Технические и физико-математические науки. 2015. № 3 (26). С. 13–18.

Поступила в редакцию 18 ноября 2021 г.

Принята в доработанном виде 3 декабря 2021 г.

Одобрена для публикации 3 декабря 2021 г.

ОБ АВТОРАХ: **Светлана Васильевна Самченко** — доктор технических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой технологии вяжущих веществ и бетонов; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 653449, Scopus: 56575166100, ResearcherID: E-9534-2017, ORCID: 0000-0002-3523-593X; samchenko@list.ru;

Егор Сергеевич Егоров — аспирант; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; старший преподаватель кафедры технологии строительного производства; **Ярославский государственный технический университет (ЯГТУ)**; 150023, г. Ярославль, Московский пр-т, д. 88; РИНЦ ID: 2299-0535, Scopus: 57217278482, ResearcherID: AAU-3324-2021, ORCID: 0000-0002-9696-9662; egorovs@ystu.ru;

Михаил Андреевич Абрамов — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии строительного производства; **Ярославский государственный технический университет (ЯГТУ)**; 150023, г. Ярославль, Московский пр-т, д. 88; РИНЦ ID: 8066-0520, Scopus: 57214155591, ORCID: 0000-0003-0558-5493; abramovma@ystu.ru.

Вклад авторов:

Самченко С.В. — научное руководство; концепция исследования; доработка текста.

Егоров Е.С. — разработка концепции, проведение исследования; написание исходного текста; описание результатов и формирование выводов исследования.

Абрамов М.А. — доработка текста; участие в обсуждении выводов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Chini A., Mbwapbo W.J. Environmentally friendly solutions for the disposal of concrete wash water from ready mixed concrete operations. *CIB W89 Beijing International Conference*. 1996; 21-24.
2. Ostroukh A.V., Surkova N.E. Ready-mixed concrete recycling system. *Best Scientific Article 2017: collection of articles of the XII International Scientific and Practical Competition*. 2017; 21-24. (rus.).
3. Kornienko P.V., Gorshkova L.V., Gaksheter G.V. On the issue of the use of waste from the processing of concrete mixtures in recycling plants. *Improving the quality of education, modern innovations in science and production: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 2016; 135-137. (rus.).
4. Kastornykh L.I., Trishchenko I.V., Gikalo M.A. Efficiency of recycling system at ready-mixed concrete and prefabricated concrete plants. *Construction Materials*. 2016; (3):36-39. (rus.).
5. Vieira L.D.B.P., de Figueiredo A.D. Evaluation of concrete recycling system efficiency for ready-mix concrete plants. *Waste Management*. 2016; 56:337-351. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.07.015
6. Scrivener K.L., Nonat A. Hydration of cementitious materials, present and future. *Cement and Concrete Research*. 2011; 41(7):651-665. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.03.026
7. Zervaki M., Leptokaridis C., Tsimas S. Reuse of by-products from ready-mixed concrete plants for the production of cement mortars. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 2013; 1(2):152-162. DOI: 10.13044/j.sdewes.2013.01.0011
8. Ayapov U.A., Butt Yu.M. *Hardening of binders with intensifier additives*. Alma-Ata, Nauka Publ., 1978; 256. (rus.).
9. Kumar A., Bishnoi S., Scrivener K.L. Modelling early age hydration kinetics of alite. *Cement and Concrete Research*. 2012; 42(7):903-918. DOI: 10.1016/j.cemconres.2012.03.003
10. Nicoleau L., Nonat A. A new view on the kinetics of tricalcium silicate hydration. *Cement and Concrete Research*. 2016; 86:1-11. DOI: 10.1016/j.cemconres.2016.04.009
11. Klus L., Václavík V., Dvorský T., Svoboda J., Papesch R. The utilization of waste water from a concrete plant in the production of cement composites. *Buildings*. 2017; 7(4):120. DOI: 10.3390/buildings7040120
12. Asadollahfardi G., Asadi M., Jafari H., Moradi A., Asadollahfardi R. Experimental and statistical studies of using wash water from ready-mix concrete trucks and a batching plant in the production of fresh concrete. *Construction and Building Materials*. 2015; 98:305-314. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.053
13. Gebremichael N.N., Karein S.M.M., Karakouzian M., Jadidi K. Investigation of setting time and compressive strength of ready-mixed concrete blended with returned fresh concrete. *Construction and Building Materials*. 2019; 197:428-435. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.201
14. Krasnikova N.M., Morozov N.M., Kazantseva A.S. On the possibility of the use of sludge produced from concrete waste recycling. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2015; 3(3):121-126. (rus.).
15. Batrakov V.G. *Modified concrete. Theory and practice*. 2nd edition. Moscow, Technoproject Publ., 1998; 768. (rus.).
16. Ramachandran V.S. Influence of Superplasticizers on the Hydration of Cement. *3rd International Congress on Polymers in Concrete*. Koriyama, Japan, 1981; 1071-1081.
17. Fediuk R., Mochalov A., Lesovik V. Modern activation methods for binder and concrete mixtures (review). *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2018; 4(37):85-99. DOI: 10.5281/zenodo.2008670 (rus.).
18. Ibragimov R.A., Pimenov S.I. Influence of mechanochemical activation on the cement hydration features. *Magazine of Civil Engineering*. 2016; 2(62):3-12. DOI: 10.5862/MCE.62.1 (rus.).
19. Ibragimov R.A., Pimenov S.I., Izotov V.S. Effect of mechanochemical activation of binder on properties of fine-grained concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2015; 54(2):63-69. DOI: 10.5862/MCE.54.7 (rus.).
20. Maškin N., Molchanov V., Zibnicka N., Petrov I. Activation of cement binder in heavy cellular concrete and technology for transport construction. *Bulletin of TuvSU*. 2015; 3(26):13-18. (rus.).

Received November 18, 2021.

Adopted in revised form on December 3, 2021.

Approved for publication on December 3, 2021.

BIONOTES: Svetlana V. Samchenko — Doctor of Technical Sciences, Professor, Acting Head of the Department of Technology of Binders and Concrete; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 653449, Scopus: 56575166100, ResearcherID: E-9534-2017, ORCID: 0000-0002-3523-593X; samchenko@list.ru;

Egor S. Egorov — postgraduate; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Senior Lecturer at the Department of

Construction Production Technology; **Yaroslavl State Technical University (YSTU)**; 88 Moskovsky avenue, Yaroslavl, 150023, Russian Federation; ID RISC: 2299-0535, Scopus: 57217278482, ResearcherID: AAU-3324-2021, ORCID: 0000-0002-9696-9662; egoroves@ystu.ru;

Mihail A. Abramov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Construction Production Technology; **Yaroslavl State Technical University (YSTU)**; 88 Moskovsky avenue, Yaroslavl, 150023, Russian Federation; ID RISC: 8066-0520, Scopus: 57214155591, ORCID: 0000-0003-0558-5493; abramovma@ystu.ru.

Contribution of the authors:

Samchenko S.V. — scientific management; research concept; follow on revision of the text.

Egorov E.S. — concept development; research; writing of the source text; description of the results and formation of conclusions of the study.

Abramov M.A. — follow on revision of the text; participation in the discussions of the conclusions.

The authors declare no conflict of interest.

ГИДРАВЛИКА. ГЕОТЕХНИКА. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ / REVIEW PAPER

УДК 626.01

DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1582-1591

Численное моделирование в основе систем мониторинга безопасности гидротехнических сооружений и автоматизированные системы управления напряженно- деформированным состоянием

Дмитрий Сергеевич Дмитриев¹, Александр Алексеевич Учеваткин²

¹ Научно-исследовательский центр СтаДиО (НИЦ СтаДиО); г. Москва, Россия;

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Изложены особенности систем мониторинга безопасности гидротехнических сооружений (ГТС), в основе которых лежит аппарат математического и компьютерного моделирования. Рассмотрены перспективы применения автоматизированных систем управления (АСУ) напряженно-деформированным состоянием (НДС) строительных конструкций ГТС.

Материалы и методы. Представлен аналитический обзор зарубежных примеров реализации систем мониторинга высоконапорных ГТС с основой на математические модели. Показаны результаты расчетных исследований комплекса Загорской ГАЭС в рамках программно-аппаратного комплекса для мониторинга безопасности. Описана концепция АСУ НДС.

Результаты. Обозначены преимущества и ограничения широко применяемых отечественных и зарубежных автоматизированных информационно-диагностических систем. На конкретных примерах интеграции численных моделей ГТС в комплексные системы мониторинга безопасности ГТС продемонстрированы способы расширения возможностей систем мониторинга в части анализа НДС сооружений и прогнозных оценок. Отмечена недостаточная проработанность вопросов управления НДС сооружений, но обоснована необходимость разработки специальных конструктивных элементов с переменными параметрами для влияния на НДС гидротехнических сооружений.

Выводы. Представленные данные подтверждают необходимость развития систем мониторинга безопасности ГТС, основанных на комплексных, мультифизических математических моделях, которые позволяют значительно расширить функциональные возможности систем мониторинга и в итоге повысить безопасность гидросооружений. Анализ мирового опыта говорит о нарастающем отставании российской гидроэнергетической отрасли в части интеграции математических моделей в системы мониторинга безопасности ГТС, что очевидно требует дополнительных исследований и практических работ в этой области. Несмотря на то, что внедрение АСУ НДС ГТС может показаться слишком смелым решением, проработкой этих вопросов следует заниматься уже сегодня, в том числе в части разработки специальных конструктивных элементов с переменными параметрами для влияния на НДС ГТС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мониторинг безопасности, контрольно-измерительная аппаратура, бетонные плотины, напряженно-деформированное состояние, численное моделирование, метод конечных элементов, автоматизированная система управления

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Дмитриев Д.С., Учеваткин А.А. Численное моделирование в основе систем мониторинга безопасности гидротехнических сооружений и автоматизированные системы управления напряженно-деформированным состоянием // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 12. С. 1582–1591. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1582-1591

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Сергеевич Дмитриев, dmitriev.d.s@yandex.ru.

Mathematical simulation in the system of safety monitoring of hydraulic structures and automated control systems of stress-strain state

Dmitry S. Dmitriev¹, Alexander A. Uchevatkin²

¹ StaDyO Science & Research Center; Moscow, Russian Federation;

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

ABSTRACT

Introduction. The article describes the features of the systems for monitoring the safety of hydraulic structures, which are based on the apparatus of mathematical and computer modeling. Prospects for the use of automated control systems for the stress-strain state of building structures of hydraulic structures are considered.

Materials and methods. An analytical review of foreign examples of the implementation of monitoring systems for high-pressure hydraulic structures based on mathematical models is presented. The results of computational studies of the Zagorsk PSPP complex within the framework of the hardware and software complex for safety monitoring are shown. The concept of automated stress-strain state control systems is described.

Results. The advantages and limitations of widely used, domestic and foreign automated information and diagnostic systems are outlined. On specific examples of the integration of numerical models of hydraulic structures into integrated systems for monitoring the safety of hydraulic structures, methods of expanding the capabilities of monitoring systems in terms of analyzing the stress-strain state of structures and predictive estimates are demonstrated. Insufficient elaboration of the issues of management of the stress-strain state of structures is noted, but the need to develop special structural elements with variable parameters to influence the stress-strain state of hydraulic structures is substantiated.

Conclusions. The data presented in the article confirm the need to develop systems for monitoring the safety of hydraulic structures based on complex, multiphysics mathematical models, which can significantly expand the functionality of monitoring systems and, as a result, improve the safety of hydraulic structures. The analysis of world experience indicates the growing lag of the Russian hydropower industry in terms of the integration of mathematical models into the safety monitoring systems for hydraulic structures, which obviously requires additional research and practical work in this area.

KEYWORDS: safety monitoring, instrumentation, concrete dams, stress-strain state, numerical modeling, finite element method, automated control system

FOR CITATION: Dmitriev D.S., Uchevatkin A.A. Mathematical simulation in the system of safety monitoring of hydraulic structures and automated control systems of stress-strain state. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(12):1582-1591. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1582-1591 (rus.).

Corresponding author: Dmitry S. Dmitriev, dmitriev.d.s@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Современные способы оценки технического состояния строительных конструкций (в части механической безопасности), основанные на традиционном визуальном и инструментальном обследовании и успешно используемые для «обычных» зданий и сооружений, недостаточно эффективны при мониторинге водоподпорных гидротехнических сооружений (ГТС), в том числе в силу, как правило, ограниченного доступа к несущим конструкциям и их элементам, значительной продолжительности сроков выполнения работ и их чрезмерной трудоемкости. В связи с этим для гидротехнических объектов возникает необходимость автоматизации процесса мониторинга (что успешно реализуется с помощью систем автоматизированного сбора данных натурных наблюдений) и диагностики их механической безопасности на основе неразрушающих методов контроля, позволяющих в процессе эксплуатации объекта выявлять на ранней стадии изменения напряженно-деформированного состояния (НДС). Особую актуальность приобретает возможность прогнозирования НДС гидросооружений при различных гипотетических сценариях их работы, что даст возможность заблаговременно выявить потенциально опасные ситуации.

Вопросы автоматизированного сбора натурных данных с датчиков контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) на сегодняшний момент довольно хорошо проработаны, и в России, и за рубежом разработан ряд информационно-диагностических систем, которые позволяют собирать и сопоставлять с критериальными значениями контролируемые показатели состояния ГТС. Но провести более глубокий анализ поступающих сведений, включая выявление истинных причин изменения картины НДС конструктивных элементов, а также проведение прогнозных

оценок, без использования аппарата математического моделирования невозможно.

Применение численных, пространственных моделей систем «основание – гидротехническое сооружение – водохранилище» является, по сути, единственным и безальтернативным способом расширения возможностей систем мониторинга безопасности ГТС. Возможности численного моделирования позволяют увидеть качественно более полную и актуальную картину НДС сооружения и провести прогнозные исследования для огромного числа сценариев нагружения. Примеров успешной интеграции численных моделей гидротехнических сооружений в комплексные системы мониторинга безопасности ГТС не так много, но тенденция к развитию именно таких систем в настоящее время очевидна.

Сегодня на стыке механики деформируемого твердого тела с общей теорией управления, робототехникой, электротехникой и вычислительной математикой создаются так называемые, управляемые конструкции. Это — конструкции нового класса, представляющие собой системы с переменными управляемыми параметрами. В основе управляемых конструкций лежат автоматизированные системы управления (АСУ) НДС.

АСУ НДС — уже реальность для области машиностроения, оборудования промышленных объектов и т.д., и — будущее для ГТС. Нарботки в этой области позволяют предположить, что дальнейшим развитием систем контроля механической безопасности ГТС будет внедрение АСУ НДС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве обзора современного состояния систем мониторинга безопасности ГТС в работе описаны наиболее распространенные в России и за рубежом информационно-диагностические системы

(ИДС) безопасности. Обладая рядом неоспоримых преимуществ, данные системы не могут решить все вопросы, связанные с анализом и диагностикой ГТС, поэтому развитие систем мониторинга с опорой на численные методы — важное направление. В настоящем исследовании представлен аналитический обзор зарубежных примеров реализации систем мониторинга высоконапорных ГТС с основой на математические модели, а также описана перспективная концепция АСУ НДС.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Автоматизированные информационно-диагностические системы

Системы автоматизированного сбора данных со стационарной КИА (например, магнитоупругие и струнные датчики; пьезометры, пьезодинамометры; тензометры; прогибомеры; оптико-волоконные датчики и др.) разрабатываются и используются довольно давно. Многие из них, помимо сбора информации с датчиков, проводят сопоставление этих данных с критериями безопасной эксплуатации ГТС, поэтому часто подобные системы называют информационно-диагностическими. В России наиболее известными являются системы:

- ИДС БИНГ (безопасность и надежность гидротехнических сооружений), разработанная ООО НПП «ГЕОС», которой оснащены более 100 ГТС [1, 2];
- ИДС ДЕДАЛ (DEDALUS), разработанная Всероссийским научно-исследовательским институтом гидротехники им. Б.Е. Веденеева. Эта аппаратно-программная платформа менее распространена, но в последнее время ей оснащается все большее число гидроузлов [3].

За рубежом создается большое количество автоматизированных систем мониторинга ГТС, можно выделить системы, разработанные компаниями:

- Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau e.V (VDMA) (Германия);
- Digitex (США);
- Aimil Ltd (Индия).

Подобные системы настраиваются под каждый конкретный объект, регулярно обновляются и улучшаются в рамках своих основных функций, а именно:

- автоматизированный опрос датчиков различной КИА, установленных на ГТС;
- обработка данных, полученных от датчиков КИА, и представление информации в требуемом виде;
- сравнение полученных данных с критериями безопасной работы ГТС;
- выдача предупреждающих сообщений о различных нарушениях критериальных показателей.

Но несмотря на то, что подобные системы автоматизированного контроля постоянно развиваются в части диагностических возможностей, они в известной мере ограничены. Глубокий анализ показат

ний отдельных датчиков за весь период их эксплуатации помогает выявить некоторые тенденции, однако общую картину работы системы в целом подобные данные не дают.

Численное моделирование в основе систем мониторинга

Как было отмечено во введении, общемировая тенденция в развитии систем мониторинга безопасности ГТС — внедрение технических средств, которые расширяют возможности обработки информации с датчиков и обеспечивают раннее выявление потенциально опасных изменений НДС под влиянием конструктивно-технологических, эксплуатационных и природно-техногенных воздействий. Основным таким техническим средством является разработка адекватных, пространственных, расчетных моделей с учетом фактического состояния объекта, которые базируются на широком использовании численных методов и реализуются при помощи соответствующих программных продуктов. Применение этих «мониторинговых» моделей позволяет получить информацию о состоянии элементов конструкций, где КИА не установлена или не функционирует, а также помогает увидеть более полную картину истинного НДС сооружения [4].

Также следует отметить, что в рамках современного мониторинга должен рассматриваться весь комплекс статических, динамических и техногенных воздействий (в том числе гипотетических), приводящих к качественному и количественному изменению характеристик (параметров) состояния ГТС. А сделать это можно, в том числе, на основе численного моделирования.

В качестве примера интеграции математических моделей в систему мониторинга ГТС можно привести опыт Португалии, где пилотный проект был выполнен на самой крупной в Португалии арочной плотине Кабриль (Cabril) высотой 132 м, и после полученный опыт был тиражирован на целый ряд гидротехнических объектов [5–8].

Данный проект реализован национальной лабораторией гражданского строительства Португалии (LNEC) и португальской электроэнергетической компанией (EDP) — владельцем гидроэлектростанции Кабриль. В 2008 г. на гидроузле установлена система динамического и структурного мониторинга, которая постоянно модернизируется.

В основе этой системы мониторинга — оценка и анализ динамических характеристик комплекса сооружений, важнейшим показателем которых служат собственные частоты и формы колебаний конструкции. Изменения свойств основания, развитие трещин в конструктивных элементах и множество других возможных факторов обязательно скажутся на динамических характеристиках системы. Отслеживая изменение собственных значений системы, можно находить и выявлять потенциально опасные явления. Решение обратной задачи и оптимизация расчетной

модели по сведениям натурного динамического мониторинга является нетривиальным и сложным процессом. Математически формализованные алгоритмы оптимизации расчетной модели сейчас только разрабатываются [9]. На сооружении установлена система непрерывного динамического контроля, которая фиксирует изменение динамического отклика системы при изменении внешних влияний или внутренних структурных изменениях.

Эти данные сопоставляются с результатами численных исследований на расчетной «мониторинговой» модели системы. Расчеты производятся на специально разработанном программном продукте DamDySSA2.0 (рис. 1), основанном на методе конечных элементов. Более того, по натурным показаниям могут вноситься изменения в расчетную модель, что позволяет иметь актуальную математическую модель, соответствующую реальности.

Однако следует сразу отметить некоторые упрощения, принятые в этой расчетной модели:

- она имеет довольно «грубое» разбиение на конечные элементы, а размерность математической модели по современным меркам является небольшой (до 1 миллиона неизвестных);
- свойства используемых материалов и сред приняты линейными, что, очевидно, служит значительным упрощением;

• основание принято однородным, и его массив по современным рекомендациям не является достаточным.

Но учитывая то, что в основании плотины залегает твердый, скальный грунт, для целей этих расчетов (определения собственных значений) данные упрощения уместны. А такой фактор, как учет водохранилища, значительно влияющий на динамический отклик системы, напротив реализован в модели на современном уровне — в виде акустической жидкости. Правильный учет водохранилища — один из определяющих факторов при проведении динамических расчетов [10].

Работа по совершенствованию рассматриваемой системы ведется и сейчас, но на данный момент однозначно можно сказать, что опыт Португалии продемонстрировал эффективность внедрения математических моделей в системы мониторинга. Сегодня есть большие возможности для проведения постоянного сбора информации с различных приборов, в том числе для ведения постоянного динамического мониторинга, однако эффективность этих систем зависит от правильной интерпретации поступающих данных, которая возможна только при использовании математического моделирования. Положительный опыт плотины Кабриль был применен и на других гидроузлах Португалии: арочной плотине Алкева

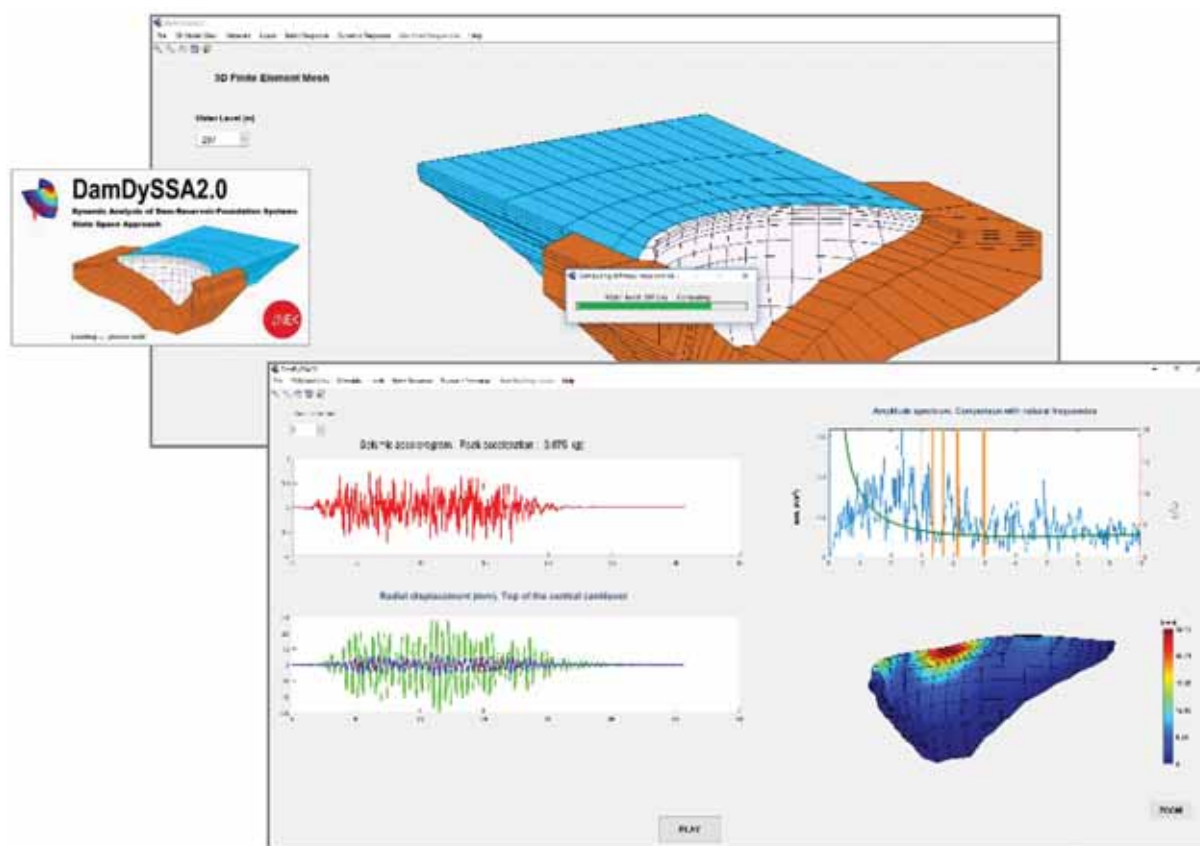


Рис. 1. Общий вид расчетной модели в программном комплексе DamDySSA2.0

Fig. 1. General view of the computational model in the DamDySSA2.0 software package

(Alqueva) высотой 96 м и арочной плотине Байшу-Сабор (Baixo Sabor) высотой 123 м.

Еще одним примером эффективного использования математических моделей в системе мониторинга безопасности ГТС можно считать опыт арочно-гравитационной плотины Ридраколи (Ridracoli) в Италии, высотой 101 м [11, 12]. За время эксплуатации (с 1986 г.) на сооружении создана обширная система инструментального мониторинга, которая включает в себя несколько тысяч датчиков различного назначения.

В 2006 г. принято решение создать пространственную модель системы «основание – комплекс ГТС – водохранилище», которая отражала бы реальные характеристики объекта (геометрические размеры, реальные контуры вмещающего массива, свойства материалов и проч.). Для этих целей было проведено сканирование гидроузла и ближайшей территории с помощью беспилотного летательного аппарата. На основе полученной информации разработана конечно-элементная модель системы (рис. 2). Следует отметить, что в этом случае особое внимание уделено вопросам взаимодействия «сооружение – жидкость» (Fluid-Structure Interaction — FSI), контактного взаимодействия «плотина – основание», а также нелинейным моделям поведения бетона.

Результаты серии динамических расчетов, приведенные в статье [13], показали, что разработанная модель способна вычислять собственные частоты сооружения, соответствующие измеренным в натуре (при различных уровнях верхнего бьефа). Также проведенные исследования на данной расчетной модели позволили наиболее полно оценить последствия землетрясения в июне 2011 г.

Нельзя не отметить сложности, которые неизбежно возникнут при попытке создать «мониторинговую» модель комплекса ГТС, которая адекватно учитывала бы сложное, нелинейное поведение грун-

тов (при нескальном основании), фильтрационные процессы и работу самих сооружений. Как известно, не существует универсального вычислительного программного пакета, позволяющего совместно решать сложные задачи геофильтрации, геомеханики, прочности и устойчивости сооружений с учетом всех передовых достижений современной вычислительной механики. Это вынужденно приводит к необходимости создания многомодельной математической основы для системы мониторинга, объединяющей результаты нескольких специализированных программных комплексов. Научно-исследовательский центр СтаДиО принимал участие в создании первой в России математической многомодельной, мультифизической основы системы мониторинга для комплекса сооружений Загорских ГАЭС [13, 14]. В рамках работы по созданию программно-аппаратного комплекса для мониторинга безопасности сооружений Загорской ГАЭС [15], которая проводилась в АО «НИИЭС», были отработаны важные аспекты взаимодействия между тремя различными расчетными комплексами: ANSYS Mechanical (НИЦ СтаДиО), Midas GTS (ООО «ПЕТРОМОДЕЛИНГ»), MODFLOW (АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»), а также интеграция полученных результатов в программно-аппаратный комплекс мониторинга и прогнозирования надежности сооружений Загорской ГАЭС (рис. 3).

Эффективность разработанного мультимодельного расчетного блока была продемонстрирована с использованием сценарного моделирования непроектной просадки здания ГАЭС-2 в результате аварийного события [16]. Результаты сценарного моделирования показали непротиворечивую картину распределения НДС в несущих конструкциях здания ГАЭС-2 и в целом согласуются с данными полевых исследований. Рассчитанная картина образования трещин на покрытии узла станции коррелирует с реальной картиной распределения трещин (рис. 4).

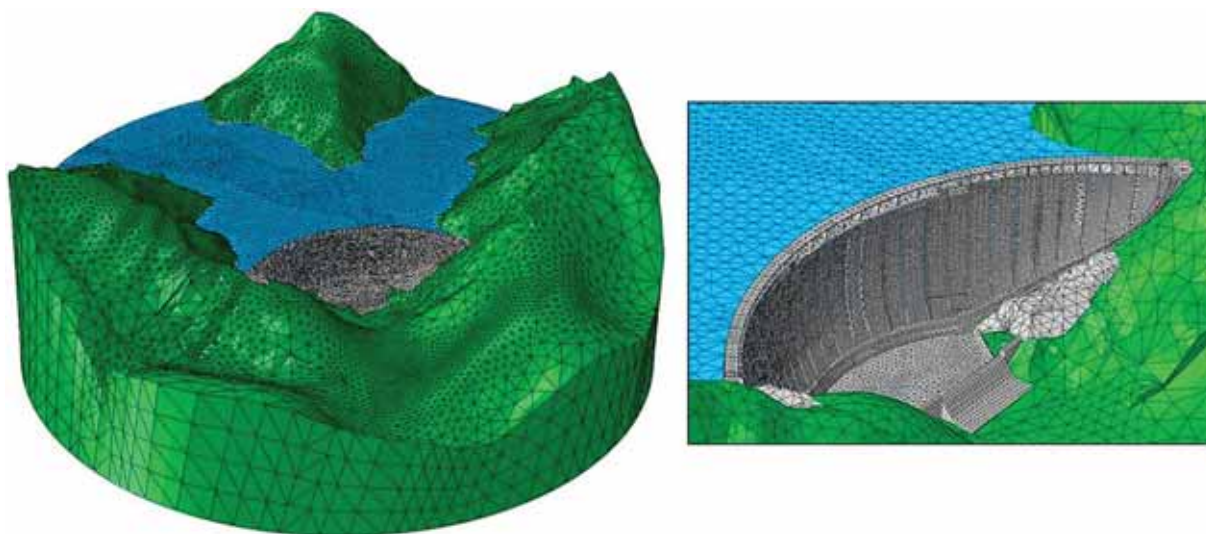


Рис. 2. Общий вид расчетной модели плотины Ридраколи

Fig. 2. General view of the computational model of the Ridracoli dam

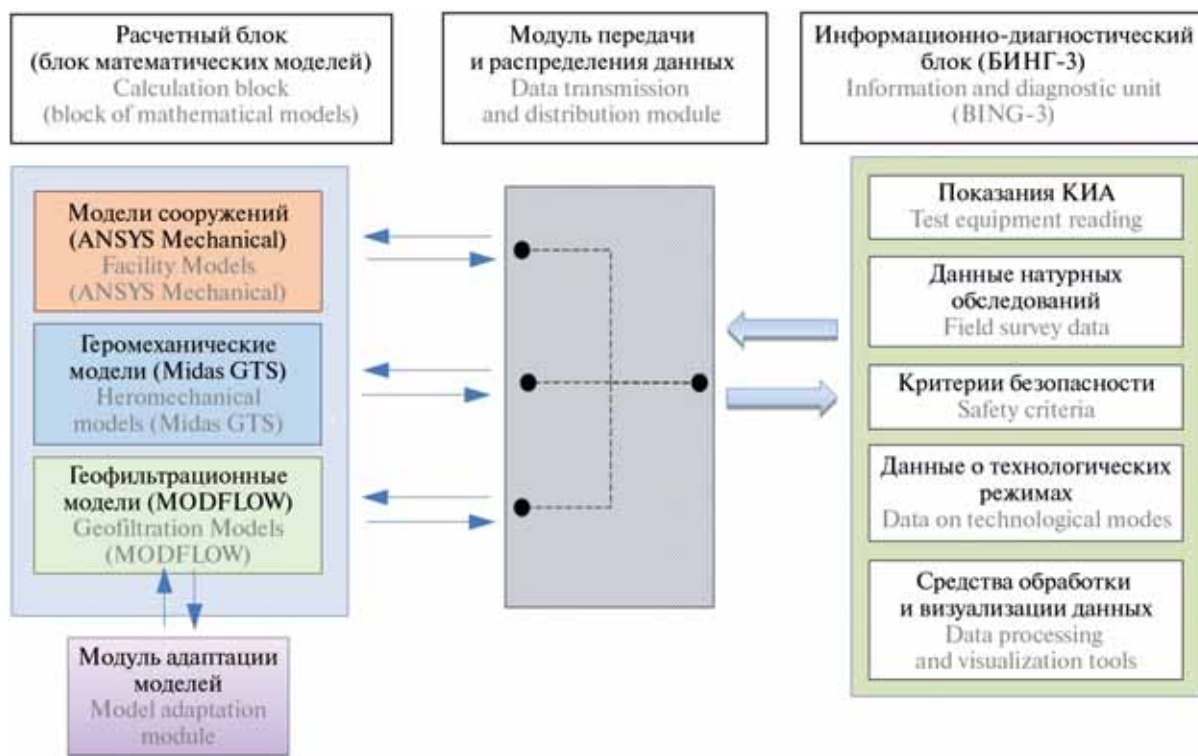


Рис. 3. Общая структурная схема программно-аппаратного комплекса мониторинга Загорской ГАЭС

Fig. 3. General block diagram of the hardware and software complex for monitoring the Zagorsk PSPP

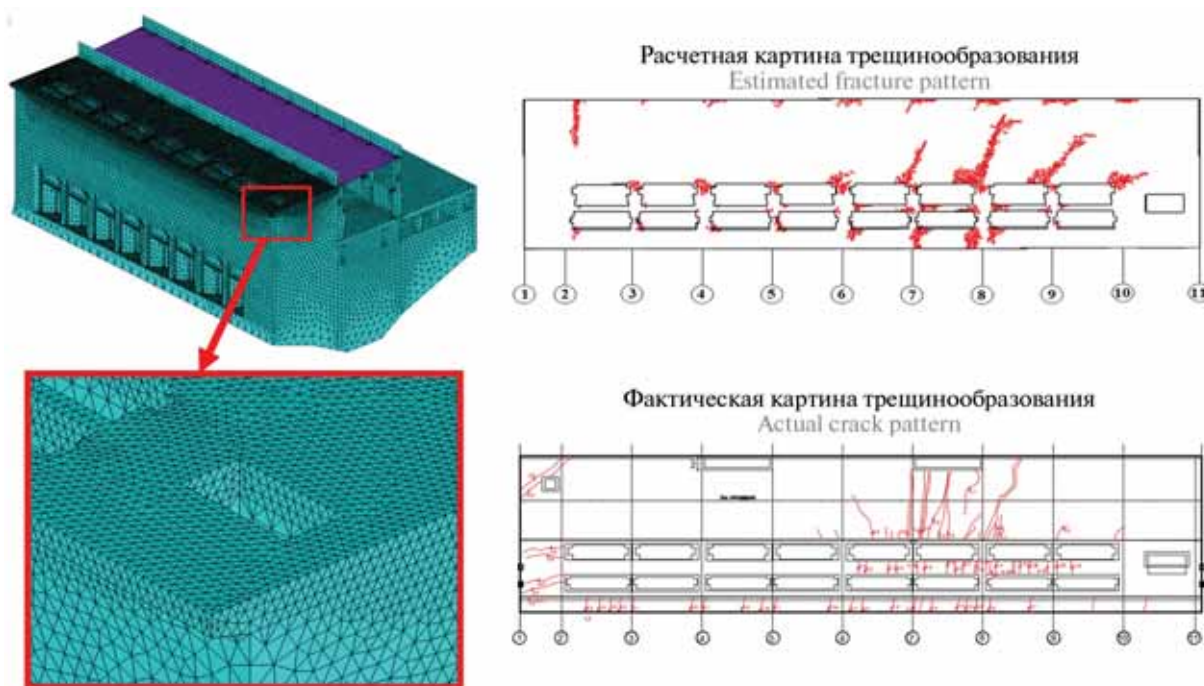


Рис. 4. Сопоставление расчетной и фактической картин трещинообразования

Fig. 4. Comparison of the calculated and actual fracture patterns

Несмотря на то, что работа по созданию программно-аппаратного комплекса мониторинга Загорской ГАЭС на настоящий момент не завершена, в процессе выполнения работ получен уникальный опыт,

который сегодня ложится в основу новых работ по созданию математических моделей для систем мониторинга уникальных и технически сложных объектов.

Автоматизированные системы управления НДС

Управление конструкциями имеет целью подчинение их НДС желаемым требованиям на различных стадиях функционирования. Концепция традиционного проектирования на самые невыгодные комбинации нагрузок и воздействий, которые практически проявляются весьма редко, во многих случаях неэффективна как с позиций материалоемкости, так и достижения высоких технологических и эксплуатационных характеристик конструкций. Защита конструкций от аварийных ситуаций также не всегда обеспечивается. Необходимы конструкции, которые могли бы адаптироваться к изменяющимся внешним воздействиям. Это решается с помощью управляемых конструкций [17, 18].

Актуальность развития управляемых конструкций подтверждается фактом создания в 1994 г. Международной ассоциации по управлению конструкциями (IASC).

Анализ задач управления НДС позволяет условно классифицировать их по целевой направленности следующим образом:

- задачи управления прочностью формулируются как задачи управления внутренними усилиями в конструкции адекватно изменяющемуся во времени ее состоянию под воздействием нагрузок;
- задачи управления жесткостью направлены на управление деформированным состоянием с целью обеспечения нормативных требований;
- задачи управления устойчивостью могут быть реализованы путем перераспределения внутренних усилий с целью снижения сжимающих напряжений в отдельных элементах или изменения величин критической нагрузки, приводящей к потере устойчивости;
- задачи управления динамическими характеристиками связаны с управляемым изменением частотных и амплитудных характеристик колебаний конструкций с целью гашения колебаний и исключения резонансных явлений;
- задачи обеспечения стабильности формы конструкции могут формироваться с целью сохранения геометрической стабильности в условиях переменных внешних воздействий путем компенсации деформаций;
- задачи управления с целью исключения аварийных ситуаций связаны с осуществлением управления состоянием конструкций в экстремальных ситуациях для исключения или снижения степени

катастрофичности при ее разрушении, повышения надежности и живучести.

Управляемая конструкция — это система, состоящая из механической части конструкции с переменными параметрами и управляющего модуля. В механической части конструкции предусмотрены переменные параметры, воздействие на которые изменяет ее свойства и особенности функционирования, в частности, НДС самой конструкции. И если для области машиностроения такие конструктивные элементы с переменными параметрами очевидны, то для ГТС это является задачей отдельных исследований.

В качестве возможного варианта изменения НДС ГТС может быть применение так называемых активных швов, в которых с помощью плоских домкратов создается усилие, нормальное шву, направленное в сторону верхнего бьефа и создающее момент, обратный моменту гидростатической нагрузки верхнего бьефа. Такая система применена на плотине Эрраген (Алжир). В работах [19, 20] представлен целый ряд конструктивных мероприятий по улучшению НДС арочных плотин, часть из которых может быть применена в системе АСУ НДС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Инструментальный мониторинг без опоры на специально разработанные математические «мониторинговые» модели ГТС не представляет значительного практического интереса и иногда уводит от осознания реальных проблем.

Развитие сложных математических моделей и применение высококласной вычислительной техники породили иллюзию возможности рассчитать любую сколь угодно нестандартную конструкцию с «абсолютной» достоверностью. Реальность же такова, что за стройностью принятых численных моделей и расчетных предпосылок стоит не всегда адекватное их воплощение при реализации конкретного проекта. Поэтому решающим фактором здесь была и остается квалификация разработчика математической модели, его инженерный опыт и способность видеть значимые факторы.

Несмотря на то, что внедрение АСУ НДС ГТС может показаться слишком смелым решением, проработкой этих вопросов необходимо заниматься уже сегодня, в том числе в части разработки специальных конструктивных элементов с переменными параметрами для влияния на НДС ГТС.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Левачев С.Н., Федорова Т.С. Развитие системы мониторинга безопасности на гидротехнических сооружениях канала имени Москвы // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 73–85. DOI: 10.22227/1997-0935.2015.5.73-85

2. Шляхтина Т.Ф., Ким Е.Л. Организация системы мониторинга Братской ГЭС // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2015. Т. 1. С. 248–254.

3. Мусюрка А.В. Автоматизированная система диагностического контроля гидротехнических сооружений Бурейской гидроэлектростанции // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов : сб. тр. восьмой Междунар. науч.-технич. конф. 2015. С. 503–507.

4. Белостоцкий А.М., Акимов П.А., Кайтуков Т.Б. Математическое и компьютерное моделирование в основе мониторинга зданий и сооружений. М. : Изд-во АСВ, 2018. 712 с.

5. Oliveira S., Alegre A. Seismic and structural health monitoring of dams in Portugal // Seismic Structural Health Monitoring. 2019. Pp. 87–113. DOI: 10.1007/978-3-030-13976-6_4

6. Oliveira S., Alegre A. Seismic and structural health monitoring of Cabril dam. Software development for informed management // Journal of Civil Structural Health Monitoring. 2020. Vol. 10. Issue 5. Pp. 913–925. DOI: 10.1007/s13349-020-00425-0

7. Alegre A., Carvalho E., Matsinhe B., Mendes P., Oliveira S., Proença J. Monitoring vibrations in large dams // HYDRO2019. Concept To Closure: Practical Steps. 2019.

8. Alegre A., Oliveira S. Non-linear seismic analysis of arch dams considering joint movements and a concrete damage model // Dam World 2020. 2020.

9. Belostotsky A.M., Akimov P.A., Negrozov O.A., Petryashev N.O., Petryashev S.O., Sherbina S.V. et al. Adaptive finite-element models in structural health monitoring systems // Magazine of Civil Engineering. 2018. Vol. 2 (78). Pp. 169–178. DOI: 10.18720/MCE.78.14

10. Дмитриев Д.С. Уточненный динамический анализ напряженно-деформированного состояния трехмерной системы «основание – водохранилище – гидротехническое сооружение» при сейсмических воздействиях : дисс. .. канд. техн. наук. М. , 2020. 158 с.

11. Buffi G., Manciola P., De Lorenzis L., Cavalagli N., Comodini F., Gambi A. et al. Calibration of finite element models of concrete arch-gravity dams using dynamical measures: the case of Ridracoli // Procedia Engineering. 2017. Vol. 199. Pp. 110–115. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.09.169

12. Buffi G., Manciola P., Grassi S., Barberini M., Gambi A. Survey of the Ridracoli Dam: UAV-based

photogrammetry and traditional topographic techniques in the inspection of vertical structures // Geomatics, Natural Hazards and Risk. 2017. Vol. 8. Issue 2. Pp. 1562–1579. DOI: 10.1080/19475705.2017.1362039

13. Лунаци М.Э., Шполянский Ю.Б., Соболев В.Ю., Беллендир Е.Н., Белостоцкий А.М., Лисичкин С.Е. и др. Концепция построения архитектуры программно-аппаратного комплекса для мониторинга состояния гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2016. № 5. С. 2–6.

14. Dmitriev D.S., Belostotsky A.M., Nagibovich A.I., Ostrovsky K.S. Development and approbation of the mathematical multi-model basis of the monitoring system for the “heterogeneous filtering base – structures” systems of the responsible building objects (on the example of Zagorskaya PSPP) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 456. P. 012037. DOI: 10.1088/1757-899X/456/1/012037

15. Рубин О.Д., Соболев В.Ю. Техническая реализация программно-аппаратного комплекса для мониторинга состояния и прогнозирования безопасности гидротехнических сооружений и их оснований // Природообустройство. 2017. № 1. С. 41–46.

16. Никифорова Г.Д., Бакинтанов А.М. Загорская ГАЭС-2. Причины аварии и восстановление // Рациональное использование природных ресурсов: теория, практика и региональные проблемы : мат. I Всерос. (национальной) конф. Омск, 26 мая 2021 г. Омск : ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2021. С. 44–50.

17. Абовский Н.П. Управляемые конструкции : учебное пособие. Красноярск, 1998. 433 с.

18. Васильков Г. Теория адаптивной эволюции механических систем // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2008. № 1. 248 с.

19. Каганов Г.М., Волков В.И., Учеваткин А.А. Пути усиления некоторых типов арочных плотин в широких створах // Гидротехническое строительство. 2011. № 8. С. 46–50.

20. Каганов Г.М., Волков В.И., Учеваткин А.А. К вопросу усиления арочных плотин при невозможности сработки водохранилища // Природообустройство. 2012. № 1. С. 40–42.

Поступила в редакцию 2 декабря 2021 г.

Принята в доработанном виде 10 декабря 2021 г.

Одобрена для публикации 10 декабря 2021 г.

О Б АВТОРАХ: Дмитрий Сергеевич Дмитриев — кандидат технических наук, заведующий отделом расчетных исследований; Научно-исследовательский центр СтаДиО (НИЦ СтаДиО); 125124, г. Москва, ул. 3-я Ямского Поля, д. 18; SPIN-код: 7607-6978, Scopus: 57204526893; dmitriev.d.s@yandex.ru;

Александр Алексеевич Учеваткин — аспирант кафедры гидротехнического строительства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 485908, ResearcherID: Q-6673-2016, ORCID: 0000-0002-8595-2101; a-uchevatkin@yandex.ru.

Вклад авторов:

Дмитриев Д.С. — концепция исследования; развитие методологии; написание исходного текста; итоговые выводы.

Учеваткин А.А. — автор внес существенный вклад в концепцию исследования; поиск материалов; итоговые выводы.

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Levachev S.N., Fedorova T.S. Development of the safety monitoring system of hydraulic structures of the Moscow canal. *Vestnik MGSU*. 2015; 5:73-85. DOI: 10.22227/1997-0935.2015.5.73-85 (rus.).
2. Shlyakhtina T.F., Kim E.L. Organization of the monitoring system of the Bratsk HPP. *Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences*. 2015; 1:248-254. (rus.).
3. Musyurka A.V. Automated diagnostic testing of hydraulic structures Bureyskaya hydroelectric power. *Energy: management, quality and efficiency of energy resources use : collection of proceedings of the eighth international scientific and technical conference*. 2015; 503-507. (rus.).
4. Belostotskiy A.M., Akimov P.A., Kaytukov T.B. *Mathematical and computer modeling in the basis of monitoring of buildings and structures*. Moscow, ASV, 2018; 712. (rus.).
5. Oliveira S., Alegre A. Seismic and structural health monitoring of dams in Portugal. *Seismic Structural Health Monitoring*. 2019; 87-113. DOI: 10.1007/978-3-030-13976-6_4
6. Oliveira S., Alegre A. Seismic and structural health monitoring of Cabril dam. Software development for informed management. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*. 2020; 10(5):913-925. DOI: 10.1007/s13349-020-00425-0
7. Alegre A., Carvalho E., Matsinhe B., Mendes P., Oliveira S., Proença J. Monitoring vibrations in large dams. *HYDRO2019. Concept To Closure: Practical Steps*. 2019.
8. Alegre A., Oliveira S. Non-linear seismic analysis of arch dams considering joint movements and a concrete damage model. *Dam World 2020*. 2020.
9. Belostotskiy A.M., Akimov P.A., Negrozov O.A., Petryashev N.O., Petryashev S.O., Sherbina S.V. et al. Adaptive finite-element models in structural health monitoring systems. *Magazine of Civil Engineering*. 2018; 2(78):169-178. DOI: 10.18720/MCE.78.14
10. Dmitriyev D.S. *Refined dynamic analysis of the stress-strain state of the three-dimensional system "base – reservoir – hydraulic structure" under seismic effects : diss. kand. tekhn. nauk*. Moscow, 2020; 158. (rus.).
11. Buffi G., Manciola P., De Lorenzis L., Cavigli N., Comodini F., Gambi A. et al. Calibration of finite element models of concrete arch-gravity dams using dynamical measures: the case of Ridracoli. *Procedia Engineering*. 2017; 199:110-115. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.09.169
12. Buffi G., Manciola P., Grassi S., Barberini M., Gambi A. Survey of the Ridracoli Dam: UAV-based photogrammetry and traditional topographic techniques in the inspection of vertical structures. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2017; 8(2):1562-1579. DOI: 10.1080/19475705.2017.1362039
13. Lunatsi M.E., Shpolyanskiy Yu.B., Sobolev V. Yu., Bellendir E.N., Belostotskiy A.M., Lisichkin S.E. et al. The concept of building the architecture of a software and hardware complex for monitoring the state of hydraulic structures. *Hydraulic Engineering*. 2016; 5:2-6. (rus.).
14. Dmitriyev D.S., Belostotskiy A.M., Nagibovich A.I., Ostrovsky K.S. Development and approbation of the mathematical multi-model basis of the monitoring system for the "heterogeneous filtering base – structures" systems of the responsible building objects (on the example of Zagorskaya PSPP). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 456:012037. DOI: 10.1088/1757-899X/456/1/012037
15. Rubin O.D., Sobolev V. Yu. Technical implementation of a software and hardware complex for monitoring the state and predicting the safety of hydraulic structures and their foundations. *Environmental Management*. 2017; 1:41-46. (rus.).
16. Nikiforova G.D., Bakshtanin A.M. Zagorskaya PSPP-2. Reasons for disasters and recovery. *Rational use of natural resources: theory, practice and regional problems: materials of the I All-Russian (national) conference. Omsk, May 26, 2021*. Omsk, FGBOU VO Omsk GAU, 2021; 44-50. (rus.).
17. Abovskiy N.P. *Managed constructs*. Krasnoyarsk, 1998; 433. (rus.).
18. Vasil'kov G. The theory of adaptive evolution of mechanical systems. *Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskii region. Natural science*. 2008; 1:248. (rus.).
19. Kaganov G.M., Volkov V.I., Uchevatkin A.A. Ways to strengthen some types of arch dams in wide sections. *Hydraulic Engineering*. 2011; 8:46-50. (rus.).
20. Kaganov G.M., Volkov V.I., Uchevatkin A.A. On the issue of strengthening arched dams when it is impossible to drain the reservoir. *Environmental Management*. 2012; 1:40-42. (rus.).

Received December 2, 2021.

Adopted in revised form on December 10, 2021.

Approved for publication on December 10, 2021.

B I O N O T E S: **Dmitry S. Dmitriev** — Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Computational Research; **StadyO Science & Research Center**; 18 3rd Yamskogo Polia st., Moscow, 125124, Russian Federation; SPIN-code: 7607-6978, Scopus: 57204526893; dmitriev.d.s@yandex.ru;

Alexander A. Uchevatkin — postgraduate student of the Department of Hydraulic Engineering; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 485908, ResearcherID: Q-6673-2016, ORCID: 0000-0002-8595-2101; a-uchevatkin@yandex.ru.

Contribution of the authors:

Dmitriev D.S. — research concept; development of methodology; writing the source text; final conclusions.

Uchevatkin A.A. — the author made a significant contribution to the concept of the study; search for materials; final conclusions.

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

The authors declare no conflicts of interest.

Удаление фенола с помощью усовершенствованного процесса электрокоагуляции с персульфатной солью

Самех Абдельфаттах Араби Ахмед^{1,2}, Елена Сергеевна Гогина¹

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

² Асуанский университет, г. Асуан, Египет

АННОТАЦИЯ

Введение. Фенол относится к числу приоритетных загрязнителей. Фенол и его производные стабильны в воде, используются в качестве сырья во многих химических отраслях промышленности, однако, оказывают влияние на загрязнение окружающей среды и здоровье людей. Изучалось удаление фенола за счет реакционной способности свободных сульфатных радикалов ($\text{SO}_4^{\cdot-}$), активированных электрохимически генерированными ионами $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, которые оцениваются как разрушающие фенол в водном растворе.

Материалы и методы. В настоящем экспериментальном исследовании реактор электрокоагуляции с железными электродами используется в присутствии персульфат-ионов для удаления фенола из водных растворов. В связи с этим рассмотрено влияние четырех независимых переменных, включая pH, силу тока (I), количество вещества персульфата и исходную концентрацию фенола на удаление фенола.

Результаты. Определены оптимальные условия для максимального удаления фенола с использованием электроперсульфатного процесса в качестве pH 3, количество вещества персульфата 7,4 ммоль, плотность тока 27,78 мА/см² и начальная концентрация фенола 100 мг/л при времени реакции 30 мин. Результаты показали, что эффективность удаления фенола напрямую зависит от начального количества вещества персульфата. Значения pH меньше, чем рКа фенола, оказывают небольшое влияние на удаление фенола. Однако это обратно коррелировало с сильнощелочным pH и более высокой концентрацией фенола.

Выводы. Электроперсульфатный процесс является эффективным и надежным, его можно использовать для обработки сточных вод, содержащих фенол.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фенол, электрокоагуляция, железные электроды, персульфат, усовершенствованные процессы окисления

Благодарности. Исследователь Ахмед Самех Абдельфаттах Араби финансируется за счет стипендии в рамках совместной исполнительной программы между Арабской Республикой Египет и Российской Федерацией.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ахмед С.А.А., Гогина Е.С. Удаление фенола с помощью усовершенствованного процесса электрокоагуляции с персульфатной солью // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 12. С. 1592–1598. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1592-1598

Автор, ответственный за переписку: Самех Абдельфаттах Араби Ахмед, sameh.araby@aswu.edu.eg.

Phenol removal by enhanced electrocoagulation process with persulfate salt

Sameh Abdelfattah Araby Ahmed^{1,2}, Elena S. Gogina¹

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

² Aswan University; Aswan, Egypt

ABSTRACT

Introduction. Phenol is classified as priority pollutant. Phenol and its derivatives are stable in water, environmental contamination, and health concerns that are used as raw material in many chemical industries. This study investigated the removal of phenol by the reactivity of free sulfate radicals ($\text{SO}_4^{\cdot-}$), activated by electrochemically generated $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ions which furthermore are evaluated to destroy phenol in aqueous solution.

Materials and methods. In the present experimental study, electrocoagulation reactor by iron electrodes is used in the presence of persulfate ions to phenol removing from aqueous solutions. In this regard, the effect of four independent variables including pH, electric current, persulfate dosage, and initial phenol concentration were studied on phenol removal.

Results. The study determined the optimum conditions for maximum phenol removal using electro-persulfate process (EPS) as pH 3, 7.4 mM persulfate dosage, 27.78 mA/cm² current density, and 100 mg/L initial phenol concentration at 30-min reaction time. The results showed that the efficiency of phenol removal was directly related to the initial persulfate dosage. In addition, the pH values, less than the phenol pKa, has slight effect onto the phenol removal. However, it was inversely correlated with a highly alkaline pH and higher phenol concentration.

Conclusions. The study concluded that electro-persulfate process is an effective and robust process that can be used for handling of phenol containing wastewater.

KEYWORDS: phenol, electrocoagulation, iron electrodes, persulfate, advanced oxidation processes

Acknowledgements. The researcher Ahmed Sameh Abdelfattah Araby is funded by a scholarship under the Joint Executive Program between the Arab Republic of Egypt and Russian Federation.

FOR CITATION: Ahmed S.A.A., Gogina E.S. Phenol removal by enhanced electrocoagulation process with persulfate salt. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(12):1592-1598. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1592-1598 (rus.).

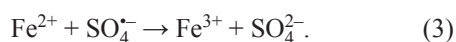
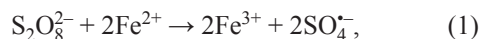
Corresponding author: Sameh Abdelfattah Araby Ahmed, sameh.araby@aswu.edu.eg.

ВВЕДЕНИЕ

Фенол — это органическое соединение, обнаруженное в сточных водах, сбрасываемых многими предприятиями различных отраслей промышленности, таких как нефтеперерабатывающая, нефтехимическая, угольная, фармацевтическая, полимерная и пестицидная [1, 2]. Фенолы считаются приоритетными загрязнителями, поскольку они вредны для организмов в низких концентрациях, и многие из них были классифицированы как опасные загрязнители из-за их способности причинять вред здоровью человека [3, 4]. В литературе описано несколько физических и химических методов очистки загрязненных сточных вод от фенола. Некоторые из этих методов включают: экстракцию растворителем [5], мембранное разделение [6], глубокое окисление [7] и адсорбцию [8]. Тем не менее усовершенствованные процессы окисления (УПО) привлекли внимание в результате способности окислять и удалять органические и фенольные соединения [7, 9, 10].

Большинство используемых в настоящее время УПО основаны на гидроксильном радикале ($\text{HO}^\bullet$), который может быстро и неселективно разрушать широкий спектр токсичных органических загрязнителей [9, 11]. Однако существуют некоторые недостатки из-за нестабильности ($\text{HO}^\bullet$), в связи с тем, что он должен постоянно генерироваться «на месте» посредством химических или электрохимических реакций. Для эффективного проведения этого процесса недавно был разработан другой тип УПО, так называемый электроперсульфатный процесс (ЭПС), в основе которого лежат сульфатные радикалы ($\text{SO}_4^{\bullet-}$). Электроперсульфатный процесс считается эффективным методом очистки сточных вод из-за его высокой способности к деградации различных загрязняющих веществ [9, 12]. В ЭПС Fe^{2+} выделяется из железного электрода с определенной скоростью под действием постоянного тока. Частицы Fe^{2+} могут активировать ионы персульфата, чтобы генерировать реактивный свободный радикал сульфата ($\text{SO}_4^{\bullet-}$) (выражение (1)) [9, 13]. При этом активные свободные радикалы эффективно разлагают органические частицы и дополнительно увеличивают скорость разложения, что приведено в уравнении (2) [9, 13]. Однако высокий окислительный потенциал ($\text{SO}_4^{\bullet-}$)

и высокий восстановительный потенциал Fe^{2+} могут инициировать еще более сильное взаимодействие между Fe^{2+} и сульфатными радикалами, что может привести к снижению скорости разложения (уравнение (3)) [9]. Сульфатные радикалы ($\text{SO}_4^{\bullet-}$) имеют более длительный период полураспада, чем $\text{HO}^\bullet$, из-за их предпочтения для реакции переноса электрона, в то время как гидроксильные радикалы могут участвовать в разнообразных реакциях с равным предпочтением [14, 15]. Следовательно, ($\text{SO}_4^{\bullet-}$) более селективны, чем $\text{HO}^\bullet$, в отношении окисления многих органических загрязнителей [16].



Что касается роста внимания к процессам электрохимического окисления для обработки органических загрязнителей из-за высокой способности электрохимических систем работать при температуре и давлении окружающей среды, а также высокой производительности и предотвращения проблем загрязнения, это исследование было направлено на изучение удаления фенола с использованием усиленного процесса электрокоагуляции (ЭК) добавлением персульфатных солей в ЭПС. Учитываются различные экспериментальные условия, такие как pH, сила тока I , количество вещества персульфата и начальная концентрация фенола.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Химические реагенты

Использовались разные реагенты, такие как фенол (чда, ТУ 2632-007-29483781-2008, Химмед, г. Москва, Россия), натрий гидроокись (чда, ГОСТ 4328-77, Россия), соляная кислота (осч 26-4, ГОСТ 14261-77, Россия). Кроме того, применялись персульфат калия и хлорид натрия. Для аналитического метода использовались 4-аминоантипирин (чда, Россия), феррицианид калия (хч, ГОСТ 4206-75, Россия), калия дигидроортофосфат (хч, ГОСТ 4198-75, Россия) и гидроортофосфат калия 3-водный (хч, ГОСТ 2493-75, Россия).

Экспериментальная установка и проведение эксперимента

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Каждый лабораторный эксперимент проводился в стеклянном стакане 2000 мл с 1600 мл раствора фенола. В качестве анода-катода использовались пластины железа (изготовленные из Ст-3, Fe 97 % чистоты, размерами $8 \times 4 \times 0,4$ см), расстояние между электродами в каждом опыте составляло 3 см. Активная поверхность — 72 см^2 . Electrodes были подключены параллельно через источник питания постоянного тока (Mestek DP3010C, 10 A, 30 В, Китай). Для обеспечения полного перемешивания в ходе экспериментов использовалась магнитная мешалка (300 об/мин).

Перед применением электроды замачивали в 5%-ном растворе HCl на 15 мин для удаления загрязнений; после этого их промывали дистиллированной водой и взвешивали [17]. Сила тока I варьировалась до 1, 2, 3 и 4 А (или плотности тока 13,9; 27,78; 41,67 и 55,56 мА/см² соответственно), а исходное значение pH доводилось до 3, 6, 9 и 12,0 путем добавления HCl или NaOH. Все эксперименты независимо повторяли не менее двух раз.

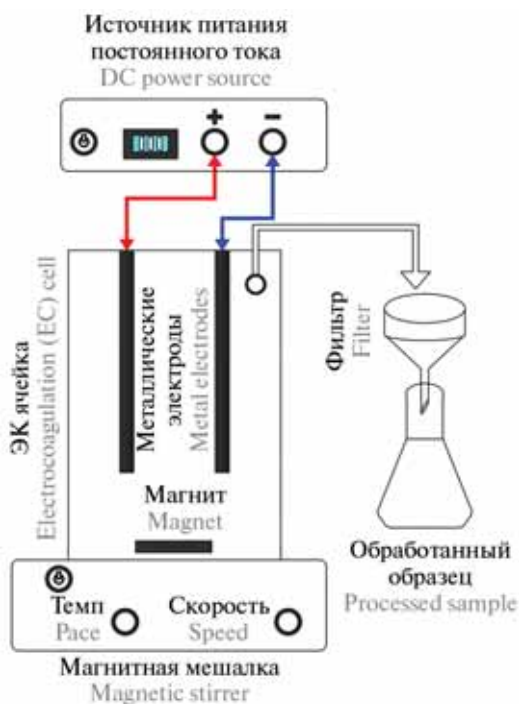


Рис. 1. Установка электрокоагуляции-фильтрации, используемая в лабораторных анализах

Fig. 1. The electrocoagulation–filtration set-up used in the laboratory analysis

Аналитический метод

Начальные и конечные значения pH-образцов растворов измеряли pH-метром/иономером ИТАН (Россия). Фильтровальную бумагу толщиной 0,2 мкм применяли для фильтрации образцов, собранных в ходе серийных экспериментов. Начальную и конеч-

ную концентрацию фенола анализировали на спектрофотометре UV-vis 2800 (Unico, США) при длине волны 500 нм по прямому фотометрическому методу (5530 D), основанному на реакции фенола с 4-аминоантипирином [18]. Для каждой серии экспериментов были построены отдельные калибровочные кривые с использованием подготовленных холостых образцов для каждого экспериментального цикла.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Влияние pH

Важный параметр pH-раствора контролирует производительность процесса ЭК, а также кинетику превращения Fe^{2+} в Fe^{3+} , которая, в свою очередь, сильно зависит от pH-раствора [9]. На рис. 2 показаны тенденции удаления фенола за 30 минут при изменении pH от 3 до 12 при различных значениях I . Удаление фенола с использованием только ЭК было выполнено при $I = 2$ А, и результаты применяются в качестве контрольных для определения усиления удаления с помощью ЭПС. Результаты показывают, что удаление фенола незначительно увеличивается при увеличении исходного значения pH с 3 до 12 в ЭК без добавления окислителя. Это связано с тем, что электрохимически генерируемые ионы Fe^{2+} окисляются намного быстрее при $\text{pH} \geq 6,5$ [19]. Таким образом, Fe^{3+} начинает выпадать в осадок в виде аморфного $\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$. Следовательно, при более высоком pH-раствора наличие осадка нерастворимых гидроксидов железа может привести к удалению фенола путем адсорбции [9, 20].

На рис. 2 также приведено удаление фенола с помощью ЭПС при разных значениях pH при разных значениях I , чтобы подтвердить тенденцию удаления для всех условий. Как видно, на удаление фенола явно влияет начальное значение $\text{pH} \leq 9$, при котором удаление фенола снижается примерно на 5,5 % даже при разных I . Однако скорость разложения фенола снижалась при увеличении pH исходного раствора, что подтверждено в исследовании скорости разложения производных фенола [9]. Это означает, что кислый pH более благоприятен для разложения фенола, чем нейтральный и щелочной pH. В кислых условиях скорость окисления Fe^{2+} до Fe^{3+} намного ниже, что приводит к тому, что большое количество ионов железа реагирует с персульфат-ионами с образованием реактивных сульфатных радикалов (уравнение (1)), ускоряющих окисление органических веществ [19]. Таким образом, экспериментальные результаты подтверждают, что удаление фенола резко усиливается за счет действия сульфатных радикалов в ЭПС, а не в ЭК.

При pH 12, превышающем pKa фенола (pKa фенола = 9,98 [2]), удаление фенола значительно снижается в процессе ЭПС. Это может быть связано с потреблением Fe^{2+} при их окислении до Fe^{3+} растворенным кислородом, что влияет на активность Fe^{2+} в отношении генерации радикалов [9, 19]. Дру-

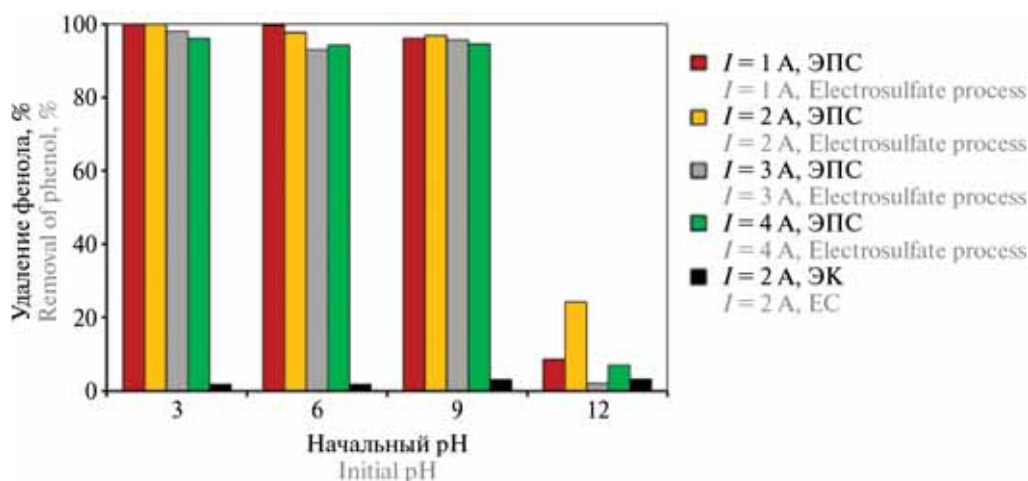


Рис. 2. Влияние pH на удаление фенола при различных значениях плотности тока (время электролиза 30 мин, персульфат = 7,4 ммоль, начальное содержание фенола = 100 мг/л, хлорид натрия = 5000 мг/л)

Fig. 2. Effect of pH on phenol removal at different current density values (electrolysis time 30 min, persulfate = 7.4 mM, initial phenol content = 100 mg/L, sodium chloride = 5000 mg/L)

гой причиной может быть диссоциация фенола, что приводит к образованию фенолят-анионов (-ve), которые более растворимы в водном растворе, и их окисление будет затруднено. Обычно pH — это сумма значения pKa и логарифма концентрации основания конъюгата, деленной на концентрацию слабой кислоты. Проще говоря, pH равен pKa, pKa рассматривается как конкретная константа, используемая для обозначения степени диссоциации кислоты. Чем ниже pH, тем выше концентрация ионов водорода $[H^+]$. Более низкие значения pKa означают, что кислота сильная и обладает большей способностью отдавать протоны. В случае фенола он считается слабой кислотой, которой требуются более высокие значения pH (более 9,98), чтобы отдать свой протон, превращающийся в фенолят-анионы. Образовавшиеся фе-

нолят-анионы (-ve) были более растворимы в водном растворе, и более сильные связи адсорбат-вода должны быть разорваны.

Влияние силы тока (I)

Приложенный ток — один из ключевых рабочих параметров, который может повлиять на эффективность удаления в электрохимическом процессе. Влияние I на удаление фенола представлено на рис. 3. Эффект I исследовали при различных значениях pH, чтобы проиллюстрировать устранение фенольной тенденции. Результаты показывают, что удаление фенола незначительно снижается с увеличением I с 1 до 4 А. Полное удаление достигается при $I = 1$ и 2 А, тогда как около 98 и 94 % получают при $I = 3$ и 4 А при pH 3 соответственно. Аналогичную тенденцию на-

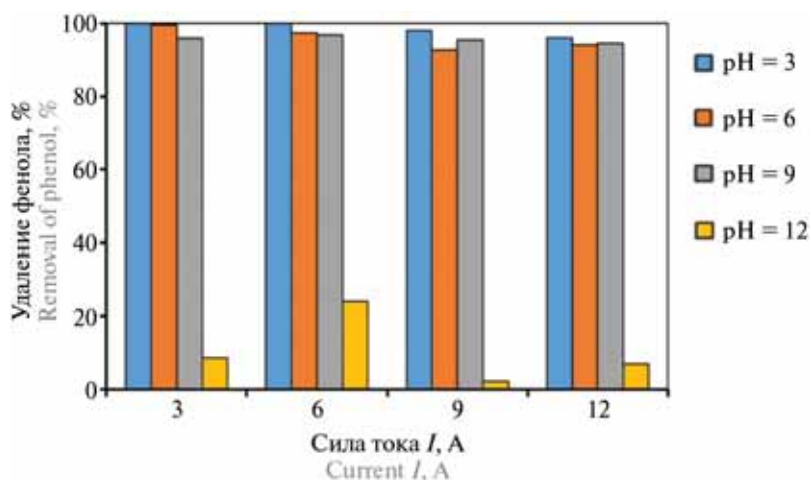


Рис. 3. Влияние I на удаление фенола при различных значениях pH (время электролиза 30 мин, персульфат = 7,4 ммоль, начальная концентрация фенола = 100 мг/л, хлорид натрия = 5000 мг/л)

Fig. 3. Effect of electric current on phenol removal at different pH values (electrolysis time 30 min, persulfate = 7.4 mM, initial phenol concentration = 100 mg/L, sodium chloride = 5000 mg/L)

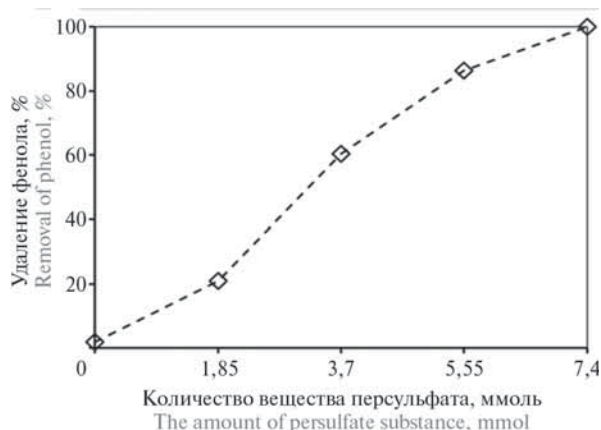


Рис. 4. Влияние количества вещества персульфата на удаление фенола (начальный pH = 3, время электролиза 30 мин, начальная концентрация фенола = 100 мг/л, хлорид натрия = 5000 мг/л, $I = 2A$)

Fig. 4. Effect of the persulfate dosage on the phenol removal (initial pH = 3, electrolysis time 30 min, Initial phenol concentration = 100 mg/l, sodium chloride = 5000 mg/l, $I = 2A$)

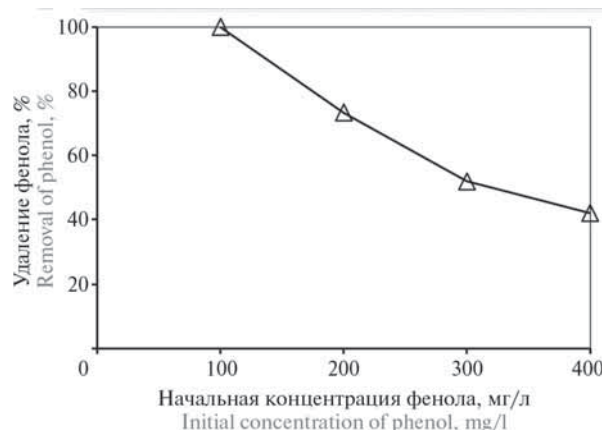


Рис. 5. Влияние исходной концентрации фенола на его удаление (исходный pH = 3, время электролиза 30 мин, персульфат = 7,4 ммоль, хлорид натрия = 5000 мг/л, $I = 2A$)

Fig. 5. Effect of the initial phenol concentration on its removal (initial pH = 3, electrolysis time 30 min, persulfate = 7.4 mM, sodium chloride = 5000 mg/l, $I = 2A$)

блюдали некоторые авторы [10]. Действительно, повышение I до определенной степени приводит к увеличению удаления фенола из-за увеличения образования Fe^{2+} , что улучшает образование сульфатных радикалов (уравнение (1)) [9]. Тем не менее высокий окислительный потенциал ($SO_4^{\cdot-}$) и высокий восстановительный потенциал Fe^{2+} могут инициировать еще более сильное взаимодействие между Fe^{2+} и сульфатными радикалами, что может привести к снижению скорости разложения (уравнение (3)) [9, 10].

Влияние количества вещества персульфата

Чтобы изучить влияние концентрации персульфата на удаление фенола, проведены серийные эксперименты с использованием различных концентраций персульфата 0; 1,85; 3,7; 5,5 и 7,4 ммоль. Соответствующие результаты представлены на рис. 4, они показывают, что удаление фенола значительно увеличивается с увеличением количества вещества персульфата. Удаление фенола увеличилось на 1,85 %, чтобы конкурировать с удалением при увеличении количества вещества персульфата от 0 до 7,4 ммоль. Это происходит из-за электрохимически созданных частиц Fe^{2+} , которые могут активировать ионы персульфата с образованием реактивных сульфатных радикалов, в котором они эффективно разлагают фенол и дополнительно увеличивают скорость разложения [9, 10, 13].

Влияние концентрации фенола

На рис. 5 представлено влияние концентрации фенола на его удаление с помощью процесса ЭПС при оптимальных условиях эксплуатации в диапазоне от 100 до 400 мг/л. Результаты показали, что увеличение исходной концентрации фенола от 100 до 400 мг/л привело к снижению эффективности удаления со 100 % до 42,01 % соответственно. Анало-

гичные результаты были получены при удалении фенола с использованием процесса электрофентона [21] и при удалении 2, 4, 6-тринитротолуола с использованием электрокоагуляции и персульфатной соли [12]. При постоянном содержании окислителя увеличение концентрации органического загрязнителя приводит к минимизации доступного окислительного потенциала и, как следствие, производительность процесса УПО снижается [22]. Кроме того, при высоких концентрациях загрязняющих веществ образование промежуточных соединений в растворе может расходовать окислители, поэтому эффективность удаления УПО снижается [22, 23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследовано удаление фенола с помощью процесса ЭПС с использованием анода из железа в водном растворе. Эффективность разложения фенола напрямую зависит от добавления окислителя и зависит от pH. Кроме того, эффективность удаления фенола снижалась при более высокой приложенной плотности тока. Таким образом, исследование доказало, что pH 3, $I = 2A$, количество вещества персульфата = 7,4 ммоль являются оптимальными условиями для полного удаления исходной концентрации фенола 100 мг/л. Результаты исследования подтвердили эффективную способность персульфата значительно улучшать очистку загрязненных фенолом потоков сточных вод. Добавление персульфата показало быстрое удаление фенола, а не только процесс электрокоагуляции, что минимизирует затраты на очистку сточной воды. Наконец, процесс ЭПС можно рассматривать как высокоэффективный и оптимизированный вариант для очистки водных потоков, загрязненных органическими веществами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. *Ahmaruzzaman M.* Adsorption of phenolic compounds on low-cost adsorbents: A review // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2008. Vol. 143. Issue 1–2. Pp. 48–67. DOI: 10.1016/j.cis.2008.07.002
2. *Dąbrowski A., Podkościelny P., Hubicki Z., Barczak M.* Adsorption of phenolic compounds by activated carbon — a critical review // *Chemosphere*. 2005. Vol. 58. Issue 8. Pp. 1049–1070. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2004.09.067
3. *Kahru A., Pöllumaa L., Blinova I., Reiman R., Rätsep A.* Chemical versus toxicological analysis in characterization of phenolic pollution: a test battery approach // *Toxicology Letters*. 1998. Vol. 95. Pp. 236–237.
4. *Busca G., Berardinelli S., Resini C., Arrighi L.* Technologies for the removal of phenol from fluid streams: A short review of recent developments // *Journal of Hazardous Materials*. 2008. Vol. 160. Issue 2–3. Pp. 265–288. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.03.045
5. *Greminger D.C., Burns G.P., Lynn S., Han-son D.N., King C.J.* Solvent extraction of phenols from water // *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*. 1982. Vol. 21. Issue 1. Pp. 51–54. DOI: 10.1021/i200016a010
6. *Raza W., Lee J., Raza N., Luo Y., Kim K.H., Yang J.* Removal of phenolic compounds from industrial waste water based on membrane-based technologies // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2019. Vol. 71. Pp. 1–18. DOI: 10.1016/j.jiec.2018.11.024
7. *Nickheslat A., Amin M.M., Izanloo H., Fatehizadeh A., Mousavi S.M.* Phenol photocatalytic degradation by advanced oxidation process under ultraviolet radiation using titanium dioxide // *Journal of Environmental and Public Health*. 2013. Vol. 2013. Pp. 1–9. DOI: 10.1155/2013/815310
8. *Andriantsiferana C., Julcour-Lebigue C., Creanga-Manole C., Delmas H., Wilhelm A.-M.* Competitive Adsorption of p-Hydroxybenzoic Acid and Phenol on Activated Carbon: Experimental Study and Modeling // *Journal of Environmental Engineering*. 2013. Vol. 139. Issue 3. Pp. 402–409. DOI: 10.1061/(asce)ee.1943-7870.0000600
9. *Govindan K., Raja M., Noel M., James E.J.* Degradation of pentachlorophenol by hydroxyl radicals and sulfate radicals using electrochemical activation of peroxomonosulfate, peroxodisulfate and hydrogen peroxide // *Journal of Hazardous Materials*. 2014. Vol. 272. Pp. 42–51. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.02.036
10. *Rahmani A.R., Rezaeivahidian H., Almasi M., Shabanlo A., Almasi H.* A comparative study on the removal of phenol from aqueous solutions by electro-Fenton and electro-persulfate processes using iron electrodes // *Research on Chemical Intermediates*. 2016. Vol. 42. Issue 2. Pp. 1441–1450. DOI: 10.1007/s11164-015-2095-1
11. *Nidheesh P.V., Gandhimathi R.* Trends in electro-Fenton process for water and wastewater treatment: An overview // *Desalination*. 2012. Vol. 299. Pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.desal.2012.05.011
12. *Mirshafiee A., Darvish M.* Degradation of 2, 4, 6-trinitrotoluene (TNT) from aqueous solution by coupled electrocoagulation process with persulfate salt // *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2021. Vol. 19. Issue 1. Pp. 1035–1041. DOI: 10.1007/s40201-021-00668-z
13. *Yuan S., Liao P., Alshawabkeh A.N.* Electrolytic Manipulation of Persulfate Reactivity by Iron Electrodes for Trichloroethylene Degradation in Groundwater // *Environmental Science & Technology*. 2014. Vol. 48. Issue 1. Pp. 656–663. DOI: 10.1021/es404535q
14. *Anipsitakis G.P., Dionysiou D.D.* Radical generation by the interaction of transition metals with common oxidants // *Environmental Science & Technology*. 2004. Vol. 38. Issue 13. Pp. 3705–3712. DOI: 10.1021/es035121o
15. *Furman O.S., Teel A.L., Watts R.J.* Mechanism of base activation of persulfate // *Environmental Science & Technology*. 2010. Vol. 44. Issue 16. Pp. 6423–6428. DOI: 10.1021/es1013714
16. *Bu L., Zhou S., Shi Z., Deng L., Li G., Yi Q. et al.* Degradation of oxcarbazepine by UV-activated persulfate oxidation: kinetics, mechanisms, and pathways // *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23. Issue 3. Pp. 2848–2855. DOI: 10.1007/s11356-015-5524-1
17. *Syaichurrozi I., Sarto S., Sediawan W.B., Hidayat M.* Effect of current and initial pH on Electrocoagulation in treating the distillery spent wash with very high pollutant content // *Water*. 2020. Vol. 13. Issue 1. P. 11. DOI: 10.3390/w13010011
18. *Baird R., Rice E., Eaton A.* Standard methods for the examination of water and wastewaters. 23rd ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC, USA, 2017.
19. *Lakshmanan D., Clifford D.A., Samanta G.* Ferrous and ferric ion generation during iron electrocoagulation // *Environmental Science & Technology*. 2009. Vol. 43. Issue 10. Pp. 3853–3859. DOI: 10.1021/es8036669
20. *Koby M., Demirbas E., Sahin O.* Effect of operational parameters on the removal of phenol from aqueous solutions by electrocoagulation using Fe and Al electrodes // *Desalination and Water Treatment*. 2012. Vol. 46. Issue 1–3. Pp. 366–374. DOI: 10.1080/19443994.2012.677565
21. *Assadi A., Naseri S., Mohammadian Fazli M.* Investigation of Phenol Removal by Proxy-Electrocoagulation Process with Iron Electrodes from Aqueous Solutions // *Journal of Human, Environment, and Health Promotion*. 2017. Vol. 2. Issue 4. Pp. 212–219. DOI: 10.29252/jhehp.2.4.212

22. Ghalwa A., Nasser M., Farhat N. Removal of Abamectin Pesticide by Electrocoagulation Process Using Stainless Steel and Iron Electrodes // Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2015. Vol. 02. Issue 03. DOI: 10.4172/2380-2391.1000134

23. Shemer H., Linden K.G. Degradation and by-product formation of diazinon in water during UV and UV/H₂O₂ treatment // Journal of Hazardous Materials. 2006. Vol. 136. Issue 3. Pp. 553–559. DOI: 10.1016/J.JHAZMAT.2005.12.028

Поступила в редакцию 21 сентября 2021 г.

Принята в доработанном виде 23 декабря 2021 г.

Одобрена для публикации 23 декабря 2021 г.

О Б АВТОРАХ: Самех Абдельфаттах Араби Ахмед — аспирант; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ассистент лектора, кафедра гражданского строительства, инженерный факультет; **Асуанский университет**; 81542, г. Асуан, Египет; РИНЦ ID: 1109646, Scopus: 57221693495; sameh.araby@aswu.edu.eg;

Елена Сергеевна Гогина — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 298730, Scopus: 55841908100, ResearcherID: P-7887-2015; GoginaES@mgsu.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Received September 21, 2021.

Adopted in revised form on December 23, 2021.

Approved for publication on December 23, 2021.

Б I O N O T E S : Sameh Abdelfattah Araby Ahmed — postgraduate; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Assistant Lecturer; Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, **Aswan University**; 81542, Aswan, Egypt; ID RISC: 1109646, Scopus: 57221693495; sameh.araby@aswu.edu.eg;

Elena S. Gogina — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associated Professor of the Department of Water Supply and Wastewater; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 298730, Scopus: 55841908100, ResearcherID: P-7887-2015; GoginaES@mgsu.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.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 697.7

DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1599-1607

Снижение энергоемкости и повышение экологической безопасности производственных помещений при использовании систем лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей

Михаил Валерьевич Бодров, Александр Анатольевич Смыков

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ);
г. Нижний Новгород, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Известно, что применение лучистых систем отопления приводит к росту экологической безопасности производственных помещений путем повышения их энергоэффективности. Наиболее перспективным является использование газовых инфракрасных излучателей, в которых отсутствует промежуточный теплоноситель, и теплота сгорания газа поступает в помещение. Однако у такого решения есть ряд ограничений по доступности газа, комфорту и пожароопасности. Также высокоэффективно применение водяных инфракрасных излучателей (ВИИ), которые могут быть представлены излучающими панелями или излучающими профилями, использующими промежуточный теплоноситель, и не имеют множества ограничений, присущих газовым системам.

Материалы и методы. Исследование проведено в лаборатории лучистого отопления ННГАСУ и посвящено изучению особенностей формирования температурного режима в помещениях, отапливаемых ВИИ, а также теплового режима наружных ограждающих конструкций в данных помещениях.

Результаты. По итогам проведения экспериментов сделан вывод о формируемом тепловом режиме в помещениях с системами отопления на базе ВИИ. Показано, что использование лучистого отопления приводит к более равномерному температурному режиму в отапливаемом помещении и меньшему перегреву покрытия помещения, чем при применении конвективных систем отопления.

Выводы. Доказана энергоэффективность лучистых систем отопления на базе ВИИ. Система водяного лучистого отопления позволяет снизить градиент температуры воздуха по высоте не только в крупнообъемных помещениях, таких как: цеха, депо, спортзалы, но и в помещениях с малой высотой расположения покрытия. Эта особенность дает возможность снизить тепловые потери через покрытие. Температурный режим в рабочей зоне помещения с применением водяного лучистого отопления, по сравнению с конвективным, остается неизменным.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: отопление, лучистое отопление, водяное отопление, инфракрасное излучение, излучатель, энергоэффективность, энергосбережение

Благодарности. Авторы выражают благодарность ООО «Флайг+Хоммель» за предоставленные образцы излучателей и многолетнее плодотворное сотрудничество.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бодров М.В., Смыков А.А. Снижение энергоемкости и повышение экологической безопасности производственных помещений при использовании систем лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 12. С. 1599–1607. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1599-1607

Автор, ответственный за переписку: Михаил Валерьевич Бодров, tes84@inbox.ru.

Reducing energy capacity and increasing the environmental safety of industrial areas when using radiative heating systems based on water infrared radiators

Mikhail V. Bodrov, Aleksandr A. Smykov

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNSAGU); Nizhny Novgorod,
Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. It has been repeatedly proven that the use of radiant heating systems leads to an increase in the environmental safety of industrial premises by increasing their energy efficiency. The most promising solution is the use of gas infrared emitters, in which there is no intermediate coolant, and the heat of combustion of the gas enters the room. However, such a solution has a number of limitations on gas availability, comfort and fire hazard. Also, a highly efficient solution is the use

of water infrared emitters, which can be represented by emitting panels or emitting profiles that use an intermediate coolant, but do not have many limitations inherent in gas systems.

Materials and methods. This study was conducted in the Laboratory of radiant Heating of NNGASU and is devoted to the study of the peculiarities of the formation of the temperature regime in rooms heated by water infrared radiators, as well as the thermal regime of external enclosing structures in these rooms.

Results. Based on the results of the experiments, the authors concluded about the formed thermal regime in rooms with heating systems based on water infrared emitters. It is proved that the use of radiant heating leads to a more uniform temperature regime in a heated room, and less overheating of the room covering than when using convective heating systems.

Conclusions. The energy efficiency of the use of radiant heating systems based on water infrared emitters has been proven. The study showed that the system of water radiant heating allows to reduce the gradient of air temperature in height not only in large-volume rooms, such as workshops, depots, gyms, but also in rooms with a low height of the coating location. This feature allows you to reduce heat losses through the coating. The temperature regime in the working area of the room with the use of radiant water heating, in comparison with convective, remains unchanged.

KEYWORDS: heating, radiant heating, water heating, infrared radiation, radiator, energy efficiency, energy saving

Acknowledgements. Authors thanks "Flyg+Hommel" LLC for providing samples of emitters and many years of fruitful cooperation.

FOR CITATION: Bodrov M.V., Smykov A.A. Reducing energy capacity and increasing the environmental safety of industrial areas when using radiative heating systems based on water infrared radiators. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(12):1599-1607. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1599-1607 (rus.).

Corresponding author: Mikhail V. Bodrov, tes84@inbox.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Вследствие того, что цены на энергоносители постоянно увеличиваются, а технологическая потребность в энергии возрастает, проблема энергосбережения остается одной из самых острых в строительной отрасли не только на территории России, но и в мире [1]. Значительное количество энергоресурсов расходуется на отопление производственных помещений большого объема. Применение систем инфракрасного (ИК) отопления — один из самых перспективных способов повышения энергоэффективности таких помещений [2–5]. Среди прочих он заслуживает особого внимания [6–8], так как по сравнению с конвективными системами отопления требует меньших затрат теплоты без снижения уровня теплового комфорта.

Принципиальным отличием систем отопления на базе ИК-излучателей является то, что теплота подается в рабочую зону направленным потоком теплового излучения. Воздушные массы в помещении не поглощают ИК-излучение, а лишь рассеивают его, и энергия от ИК-излучателей аккумулируется на приповерхностных слоях облученных поверхностей, затем формирует конвективные потоки, нагревающие воздух рабочей зоны. Данные особенности указывают на главное отличие от конвективных систем отопления и ведут к повышению энергоэффективности [4].

Наиболее многообещающим с точки зрения экономики энергоресурсов видом ИК-отопления служит отопление на базе газовых ИК-излучателей «светлого» и «темного» типа [7, 8]. В таких системах нет промежуточного теплоносителя (воды, пара), тепловая энергия поступает в помещение напрямую от сжигания первичного энергоносителя — природного газа. Но использование подобных систем связано с некоторыми сложностями, например, приме-

нение любых видов газовых ИК-излучателей в помещениях с повышенными противопожарными требованиями запрещено¹. Кроме того, использование «светлых» газовых ИК-излучателей связано с выбросом уходящих газов непосредственно в объем обслуживаемого помещения, что приводит к удорожанию системы принудительной вентиляции в помещении. Также подключение газа во многих регионах затруднено и может быть финансово неоправданным.

Эффективный вид лучистого отопления, применение которого не ограничено, — системы лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей (ВИИ) [5]. Отопительными приборами в данных системах служат излучающие панели (рис. 1, а) или излучающие профили (рис. 1, б), а теплоносителем — горячая вода с температурой от 40 до 150 °С. Тепловая энергия передается от теплоносителя к отопительному прибору, а он, в свою очередь, излучает электромагнитные волны в ИК-диапазоне, тем самым обеспечивая отопление обслуживаемого помещения.

Основные недостатки излучающих панелей, по сравнению с излучающими профилями: большее количество конструктивных элементов, более сложный гидравлический режим, высокая масса конструкции, меньшая надежность ввиду сложности конструкции и удельная теплоотдача.

В то же время использование систем отопления на базе водяных излучающих профилей характеризуется рядом преимуществ: низкая тепловая инерция, что обеспечивает короткое время включения; простое и эффективное гидравлическое регулирование за счет меньшего количества теплоносителя; простота монтажа и обслуживания вследствие кратного уменьше-

¹ СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. М. : Стандартинформ, 2021. 25 с.

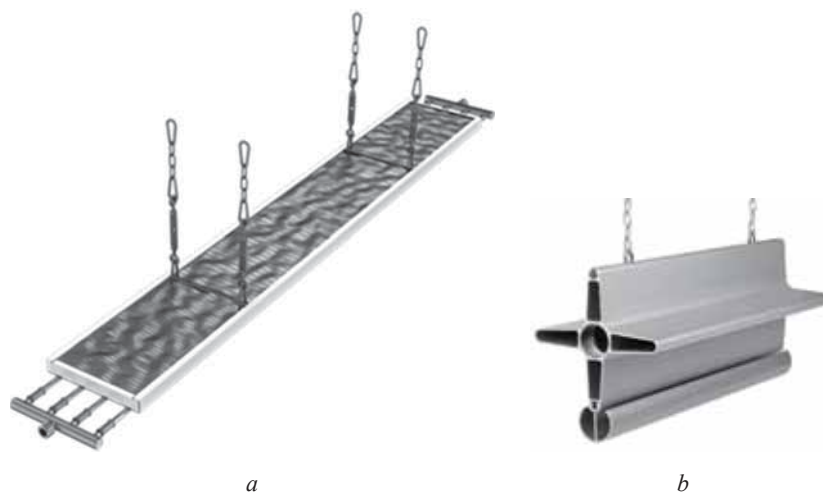


Рис. 1. Приборы ИК-отопления: *a* — водяная излучающая панель; *b* — водяной излучающий профиль

Fig. 1. Infrared heating devices: *a* — water emitting panel; *b* — water emitting profile



Рис. 2. Общий вид лаборатории лучистого отопления ННГАСУ

Fig. 2. General view of the NNGASU Radiant Heating Laboratory

ния длины транзитных трубопроводов; экономия пространства; продолжительный срок службы.

Из-за перечисленных недостатков излучающие профили получают все большее распространение на рынке отопительных приборов Европы и мира, однако в России они пока не получили должного распространения. Отсутствие апробированной и научно-обоснованной методики проектирования систем ото-

пления на базе излучающих профилей является одной из причин низкого распространения систем этого типа.

Рядом работ, выполненных в России, доказано, что применение систем отопления на базе ВИИ более эффективно и экономически обоснованно в крупнообъемных помещениях, таких как: производственные, шоурумы, здания транспортной ин-



Рис. 3. Излучающие профили: *a* — марки Helios 750; *b* — марки Flower 125

Fig. 3. Radiating profiles: *a* — Helios 750 brands; *b* — Flower 125 brands

фраструктуры, спортивные комплексы и т.д. [9–20]. Нижегородским государственным архитектурно-строительным университетом (ННГАСУ) и ООО «Флайг+Хоммель» с целью проведения комплекса исследований модели лучистой системы отопления на базе водяных излучающих профилей и внедрения водяных излучающих профилей на рынок России был создан Учебно-научно-исследовательский центр «Системы отопления с использованием низкотемпературных инфракрасных излучателей» (УНИЦ «СО-НИИ»). Основой центра является лаборатория лучистого отопления (рис. 2), оборудованная необходимой приборной базой.

Для создания полноценной картины работы системы отопления на базе водяных излучающих профилей требуется проведение следующих экспериментальных исследований: теплотехнических характеристик ВИИ; лучистых характеристик ВИИ; теплового режима в помещениях с системами отопления на базе ВИИ; температурного режима в помещениях, оборудованных системами лучистого отопления на базе ВИИ; теплового режима наружных ограждающих конструкций в помещениях с системами отопления на базе ВИИ.

В данной статье рассмотрены лабораторные и натурные исследования температурного режима в помещениях, оборудованных системами лучистого отопления на базе ВИИ. Объектом исследований стали системы лучистого отопления на базе излучающих профилей моделей Helios 750 (разработаны в Германии) и Flower 125 (разработаны в России), модели отличаются типоразмером и формой (рис. 3). Обе модели производятся на заводе ООО «Флайг+Хоммель» в г. Заволжье Нижегородской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Лабораторные исследования. Объект изучения температурного режима — помещение лаборатории лучистого отопления УНИЦ «СОНИИ» ННГАСУ. В помещении высотой 3 м, помимо установки с ИК-излучателями и двух радиаторов, подключенных к резервному источнику теплоснабжения, в ходе каждого измерения по высоте помещения были размещены 10 датчиков ТС-1388/12, подключенных к многоканальному термометру ТМ 5104Д/В/t1050/ГП производства ООО НПП «Элемер». План помещения и схема размещения датчиков приведены на рис. 4.

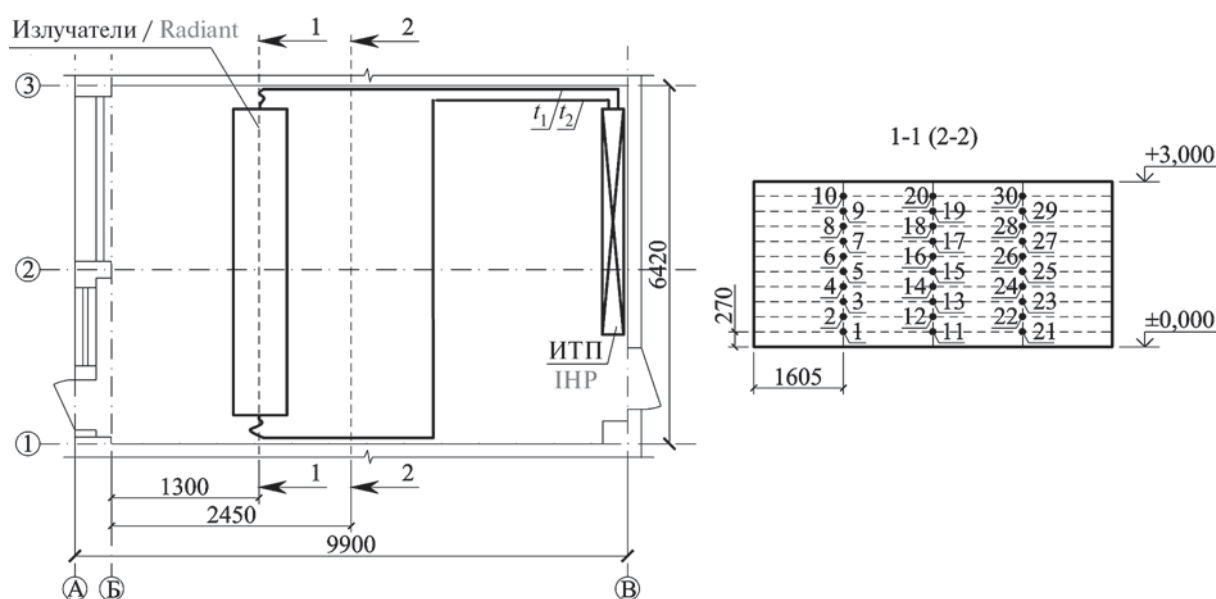


Рис. 4. План помещения лаборатории лучистого отопления и схема размещения датчиков температуры в сечениях 1-1 и 2-2

Fig. 4. The layout of the Radiant heating Laboratory and the layout of the temperature sensors in sections 1-1 and 2-2



Рис. 5. Общий вид цеха металлообработки компании ООО «Флайг+Хоммель»

Fig. 5. General view of the metalworking shop of LLC "Flyg+Hommel"

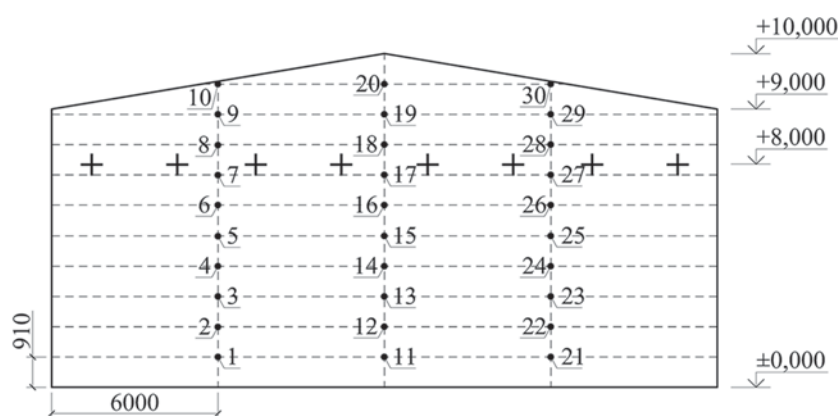


Рис. 6. Схема размещения датчиков температуры в сечении 1-1

Fig. 6. Layout of temperature sensors in section 1-1

Натурные исследования. Объектом натурных исследований температурного режима помещения, оборудованного системой лучистого отопления на базе ВИИ, стало производственное помещение — цех металлообработки компании ООО «Флайг+Хоммель», расположенный в г. Заволжье Нижегородской области (рис. 5). В помещении высотой 10 м, помимо системы отопления на базе ВИИ и радиаторной системы отопления, в ходе каждого измерения по высоте помещения были размещены 10 датчиков ТС-1388/12, подключенных к многоканальному термометру ТМ 5104Д/В/t1050/ГП производства ООО НПП «Элемер», схема размещения датчиков приведена на рис. 6.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Лабораторные исследования. Эксперименты проводились в два этапа: на первом этапе (лучистое отопление) для отопления помещения использовалась подвесная установка с ВИИ марки Flower 125; на втором этапе (конвективное отопление) помеще-

ние отапливалось двумя радиаторами марки Calidor, по 12 секций каждый. Результаты экспериментов показаны на рис. 7, 8.

Натурные исследования. Эксперименты проводились в два этапа: на первом этапе (лучистое отопление) для отопления помещения использовалась система отопления на базе ВИИ марки Helios 750; на втором этапе (конвективное отопление) помещение отапливалось системой конвективного отопления на базе чугунных радиаторов марки MC-140-500. Результаты экспериментов приведены на рис. 9.

По итогам экспериментов авторами сделан вывод о подобном тепловом режиме, формирующемся и в помещении лаборатории, и в помещении цеха металлообработки. Доказано, что использование лучистого отопления приводит к более равномерному температурному режиму в отапливаемом помещении и меньшему перегреву покрытия помещения, чем при применении конвективных систем отопления.

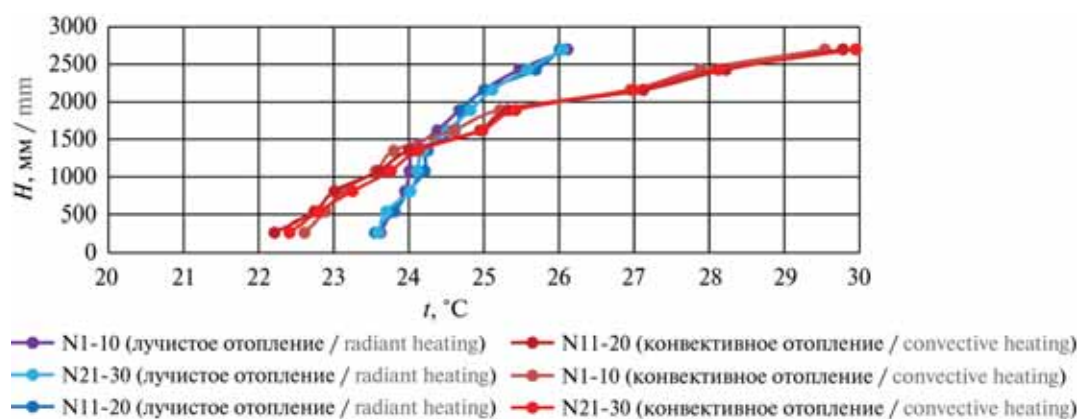


Рис. 7. Распределение температуры воздуха в помещении по высоте в сечении 1-1

Fig. 7. Distribution of indoor air temperature by height in section 1-1

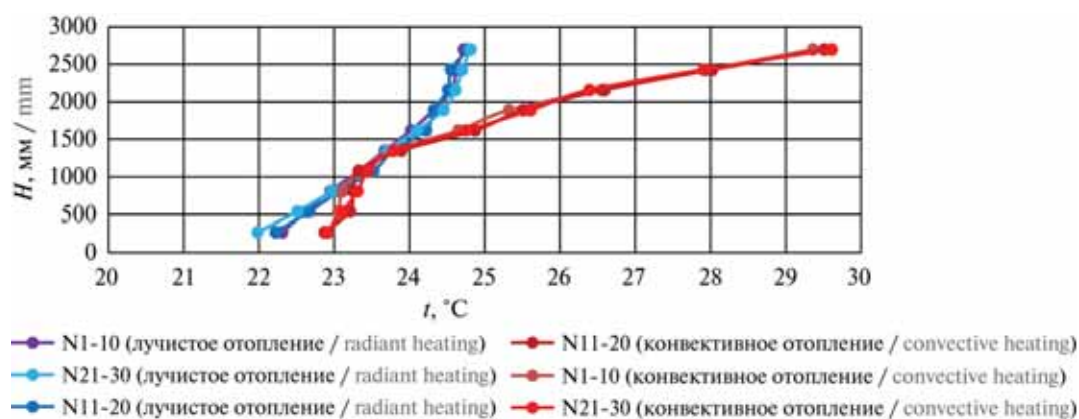


Рис. 8. Распределение температуры воздуха в помещении по высоте в сечении 2-2

Fig. 8. Distribution of indoor air temperature by height in section 2-2

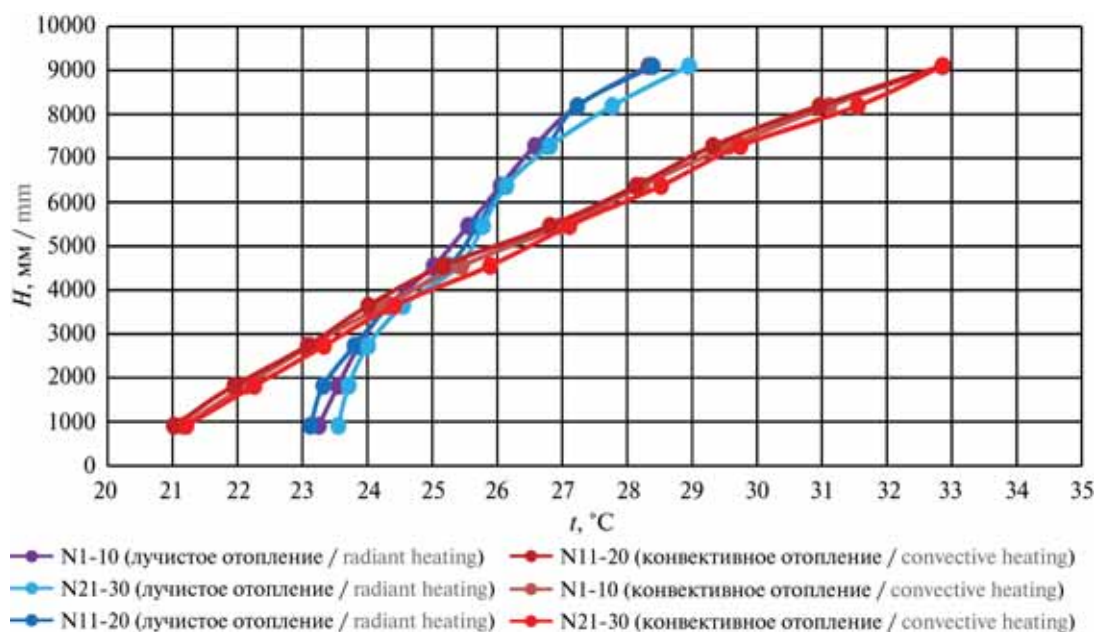


Рис. 9. Распределение температуры воздуха в помещении по высоте в сечении 1-1

Fig. 9. Distribution of indoor air temperature by height in section 1-1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Энергоэффективность применения лучистых систем отопления на базе ВИИ достигается за счет: меньшего температурного градиента по высоте помещения и отсутствия тепловой подушки, что снижает потери теплоты через покрытие помещения; снижения температуры воздуха рабочей зоны без снижения уровня комфорта благодаря более высокой радиационной температуре, что также снижает трансмиссионные тепловые потери; меньшей тепловой инерции, которая позволяет увеличить время дежурного режима работы системы отопления и снизить длительность переходного режима.

Система водяного лучистого отопления дает возможность снизить градиент температуры воздуха

по высоте не только в крупнообъемных помещениях, таких как: цеха, депо, спортзалы, но и в помещениях с малой высотой расположения покрытия. С помощью этой особенности можно снизить тепловые потери через покрытие.

Температурный режим в рабочей зоне помещения с применением водяного лучистого отопления, по сравнению с конвективным, остается неизменным, но, в соответствии с рядом исследований и требованиями нормативных документов, можно снизить температуру внутреннего воздуха помещения, что не скажется на тепловом ощущении человека, находящегося в нем, за счет более высокой радиационной температуры, и позволит несколько снизить трансмиссионные тепловые потери.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баишмаков И.А. Анализ основных тенденций развития систем теплоснабжения в России // Новости теплоснабжения. 2008. № 2 (90).
2. Бодров В.И., Михайлова Л.Ю., Смыков А.А. Температурный режим наружных ограждений помещений с системами отопления на базе газовых инфракрасных излучателей // Приволжский научный журнал. 2015. № 2 (34). С. 58–64.
3. Смыков А.А., Бодров М.В., Болдин В.П. Исследование теплового режима помещения, оборудованного системой лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей и экономической эффективности данного решения // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2021. № 5 (223). С. 38–41.
4. Bodrov M., Smykov A., Morozov M., Shapoval A., Mironov V. Energy efficiency of radiant heating systems based on water-based radiant profiles // Civil Engineering and Architecture. 2021. Vol. 9. Issue 5. Pp. 1546–1557. DOI: 10.13189/cea.2021.090525
5. Смыков А.А. Тепловой и температурный режим помещений с системами отопления на основе водяных инфракрасных излучателей // Приволжский научный журнал. 2021. № 2 (58). С. 98–106.
6. Kuznetsov G.V., Kurilenko N.I., Nee A.E. Mathematical modelling of conjugate heat transfer and fluid flow inside a domain with a radiant heating system // International Journal of Thermal Sciences. 2018. Vol. 131. Pp. 27–39. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2018.05.010
7. Kuznetsov G.V., Kurilenko N.I., Mamontov G. Ya., Mikhailova L. Yu. Experimental determination of the temperature in a small neighborhood of the gas infrared sources // EPJ Web of Conferences. 2015. Vol. 82. P. 01021. DOI: 10.1051/epjconf/20158201021
8. Maksimov V.I., Nagornova T.A., Kurilenko N.I. Verification of conjugate heat transfer models in a closed volume with radiative heat source // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 72. P. 01061. DOI: 10.1051/matecconf/20167201061
9. Fonseca N., Cuevas C., Lemort V. Radiant ceiling systems coupled to its environment part 1: Experimental analysis // Applied Thermal Engineering. 2010. Vol. 14–15. Issue 30. Pp. 2187–2195. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2010.05.033
10. Fonseca N., Bertagnolio S., Cuevas C. Radiant ceiling systems coupled to its environment part 2: Dynamic modeling and validation // Applied Thermal Engineering. 2010. Vol. 14–15. Issue 30. Pp. 2196–2203. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2010.05.032
11. Fonseca N. Experimental analysis and modeling of hydronic radiant ceiling panels using transient-state analysis // International Journal of Refrigeration. 2011. Vol. 34. Issue 4. Pp. 958–967. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2011.01.007
12. Jia H., Pang X., Haves P. Experimentally-determined characteristics of radiant systems for office buildings // Applied Energy. 2018. Vol. 221. Pp. 41–54. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.03.121
13. Bojić M., Cvetković D., Marjanović V., Blagojević M., Djordjević Z. Performances of low temperature radiant heating systems // Energy and Buildings. 2013. Vol. 61. Pp. 233–238. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.02.033
14. Yin Y.L., Wang R.Z., Zhai X.Q., Ishugah T.F. Experimental investigation on the heat transfer performance and water condensation phenomenon of radiant cooling panels // Building and Environment. 2014. Vol. 71. Pp. 15–23. DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.09.016
15. Dudkiewicz E., Jezowiecki J. The influence of orientation of a gas-fired direct radiant heater on radiant temperature distribution at a work station // Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. Issue 6. Pp. 1222–1230. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.12.030

16. Rhee K.N., Kim K.W. A 50 year review of basic and applied research in radiant heating and cooling systems for the built environment // *Building and Environment*. 2015. Vol. 91. Pp. 166–190. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.03.040

17. Rhee K.N., Olesen B.W., Kim K.W. Ten questions about radiant heating and cooling systems // *Building and Environment*. 2017. Vol. 112. Pp. 367–381. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.11.030

18. Jung N., Paiho S., Shemeikka J., Lahdelma R., Airaksinen M. Energy performance analysis of an office building in three climate zones // *Energy and Buildings*.

2018. Vol. 158. Pp. 1023–1035. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.10.030

19. Imanari T., Omori T., Bogaki K. Thermal comfort and energy consumption of the radiant ceiling panel system. Comparison with the conventional all-air system // *Energy and Buildings*. 1999. Vol. 30. Issue 2. Pp. 167–175. DOI: 10.1016/S0378-7788(98)00084-X

20. Kavga A., Karanastasi E., Konstas I., Panidis T. Performance of an infrared heating system in a production greenhouse // *IFAC Proceedings Volumes*. 2013. Vol. 46. Issue 18. Pp. 235–240. DOI: 10.3182/20130828-2-SF-3019.00017

Поступила в редакцию 14 декабря 2021 г.

Принята в доработанном виде 20 декабря 2021 г.

Одобрена для публикации 20 декабря 2021 г.

О Б АВТОРАХ: **Михаил Валерьевич Бодров** — доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой отопления и вентиляции; **Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ)**; 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65; РИНЦ ID: 813106, Scopus: 57190860886, ResearcherID: AAA-9808-2021; tes84@inbox.ru;

Александр Анатольевич Смыков — ассистент кафедры отопления и вентиляции; **Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ)**; 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65; РИНЦ ID: 852908, Scopus: 57255793600, ResearcherID: H-2915-2016, ORCID: 0000-0003-1904-708X; aleksandrsmyskov@gmail.com.

Вклад авторов:

М.В. Бодров — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, итоговые выводы.

А.А. Смыков — проведение экспериментальных исследований, написание исходного текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Bashmakov I.A. Analysis of the main trends in the development of heat supply systems in Russia. *News of heat supply*. 2008; 2(90). (rus.).

2. Bodrov V.I., Mikhailova L.Y., Smykov A.A. Temperature condition of external walls of the rooms heated by gas infrared radiators. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2015; 2(34):58-64. (rus.).

3. Smykov A.A., Bodrov M.V., Boldin V.P. Investigation of the thermal regime of a room equipped with a radiant heating system based on water infrared emitters and the economic efficiency of this solution. *Plumbing, Heating, Air Conditioning*. 2021; 5(223):38-41. (rus.).

4. Bodrov M., Smykov A., Morozov M., Shapoval A., Mironov V. Energy efficiency of radiant heating systems based on water-based radiant profiles. *Civil Engineering and Architecture*. 2021; 9(5):1546-1557. DOI: 10.13189/cea.2021.090525

5. Smykov A.A. Thermal and temperature regime of rooms with heating systems based on water infrared radiators. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2021; 2(58):98-106. (rus.).

6. Kuznetsov G.V., Kurilenko N.I., Nee A.E. Mathematical modelling of conjugate heat transfer and

fluid flow inside a domain with a radiant heating system. *International Journal of Thermal Sciences*. 2018; 131:27-39. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2018.05.010

7. Kuznetsov G.V., Kurilenko N.I., Mamontov G. Ya., Mikhailova L.Yu. Experimental determination of the temperature in a small neighborhood of the gas infrared sources. *EPJ Web of Conferences*. 2015; 82:01021. DOI: 10.1051/epjconf/20158201021

8. Maksimov V.I., Nagornova T.A., Kurilenko N.I. Verification of conjugate heat transfer models in a closed volume with radiative heat source. *MATEC Web of Conferences*. 2016; 72:01061. DOI: 10.1051/matec-conf/20167201061

9. Fonseca N., Cuevas C., Lemort V. Radiant ceiling systems coupled to its environment part 1: Experimental analysis. *Applied Thermal Engineering*. 2010; 14-15(30):2187-2195. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2010.05.033

10. Fonseca N., Bertagnolio S., Cuevas C. Radiant ceiling systems coupled to its environment part 2: Dynamic modeling and validation. *Applied Thermal Engineering*. 2010; 14-15(30):2196-2203. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2010.05.032

11. Fonseca N. Experimental analysis and modeling of hydronic radiant ceiling panels using transient-state analysis. *International Journal of Refrigeration*. 2011; 34(4):958-967. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2011.01.007
12. Jia H., Pang X., Haves P. Experimentally-determined characteristics of radiant systems for office buildings. *Applied Energy*. 2018; 221:41-54. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.03.121
13. Bojić M., Cvetković D., Marjanović V., Blagojević M., Djordjević Z. Performances of low temperature radiant heating systems. *Energy and Buildings*. 2013; 61:233-238. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.02.033
14. Yin Y.L., Wang R.Z., Zhai X.Q., Ishugah T.F. Experimental investigation on the heat transfer performance and water condensation phenomenon of radiant cooling panels. *Building and Environment*. 2014; 71:15-23. DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.09.016
15. Dudkiewicz E., Jezowiecki J. The influence of orientation of a gas-fired direct radiant heater on radiant temperature distribution at a work station. *Energy and Buildings*. 2011; 43(6):1222-1230. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.12.030
16. Rhee K.N., Kim K.W. A 50 year review of basic and applied research in radiant heating and cooling systems for the built environment. *Building and Environment*. 2015; 91:166-190. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.03.040
17. Rhee K.N., Olesen B.W., Kim K.W. Ten questions about radiant heating and cooling systems. *Building and Environment*. 2017; 112:367-381. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.11.030
18. Jung N., Paiho S., Shemeikka J., Lahdelma R., Airaksinen M. Energy performance analysis of an office building in three climate zones. *Energy and Buildings*. 2018; 158:1023-1035. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.10.030
19. Imanari T., Omori T., Bogaki K. Thermal comfort and energy consumption of the radiant ceiling panel system. Comparison with the conventional all-air system. *Energy and Buildings*. 1999; 30(2):167-175. DOI: 10.1016/S0378-7788(98)00084-X
20. Kavga A., Karanastasi E., Konstas I., Panidis T. Performance of an infrared heating system in a production greenhouse. *IFAC Proceedings Volumes*. 2013; 46(18):235-240. DOI: 10.3182/20130828-2-SF-3019.00017

Received December 14, 2021.

Adopted in revised form on December 20, 2021.

Approved for publication on December 20, 2021.

B I O N O T E S: **Mikhail V. Bodrov** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Heating and Ventilation; **Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU)**; 65 Ilyinskaya st., Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation; ID RISC: 813106, Scopus: 57190860886, ResearcherID: AAA-9808-2021; tes84@inbox.ru;

Aleksandr A. Smykov — Assistant of the Department of Heating and Ventilation; **Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU)**; 65 Ilyinskaya st., Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation; ID RISC: 852908, Scopus: 57255793600, ResearcherID: H-2915-2016, ORCID: 0000-0003-1904-708X; aleksandrsmyskov@gmail.com.

Contribution of the authors:

Mikhail V. Bodrov — scientific guidance, research concept, development of methodology, final conclusions.

Aleksandr A. Smykov — conducting experimental studies, writing the source text.

The authors declare that there is no conflict of interest.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 69.05

DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1608-1619

Совершенствование анализа факторов технических рисков с использованием комплексной модели FLDS на примере строительства многоэтажных жилых зданий

Азарий Абрамович Лapidус, Отари Джемалиевич Чапидзе

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Данное исследование направлено на разработку модели жизненного цикла (ЖЦ) многоэтажного жилого здания с учетом факторов технических рисков. Эта модель дает возможность выявить основные факторы технических рисков на разных этапах жизни проекта и спрогнозировать его поведение. Изучив обширный список как отечественной, так и зарубежной литературы, видно, что систематизация и классификация элементов ЖЦ строительного объекта в условиях факторов технических рисков является актуальной задачей в строительной отрасли. Цель исследования заключается в разработке наиболее эффективной математической модели для определения и прогнозирования влияния факторов технических рисков на ЖЦ многоэтажного жилого здания.

Материалы и методы. Исследование основывается не только на обширном обзоре научной литературы, внимание которого сосредоточено на технических рисках, но и на анализе этапов ЖЦ зданий и сооружений. Использован метод аналогий и метод диаграмм, на основе теории нечеткого множества и теории Демпстера – Шафера формируется математическая модель FLDS, проведен экспертный опрос с ведущими специалистами в строительной отрасли, на основе которого формируется отбор основных факторов технических рисков.

Результаты. Проблема анализа технических рисков в строительной индустрии имеет существенную роль, это связано с возведением значительного числа современных сооружений, уникальных по своему роду как с архитектурной точки зрения, так и с точки зрения неординарности конструктивных и технологических решений.

Выводы. В связи с неопределенностью мнений экспертов относительно вероятности возникновения и степени воздействия факторов риска, предложена доказательная математическая модель FLDS, основанная на двух теориях, которая позволяет численно определить и распределить по рангам влияние фактора риска. Результат исследования показывает, что применение математической модели FLDS значительно повысит успех при реализации проекта, позволяя увидеть критические факторы технических рисков на начальной стадии ЖЦ строительного проекта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: жизненный цикл, источник риска, риск, проект, строительство, нечеткая логика

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Лapidус А.А., Чапидзе О.Д. Совершенствование анализа факторов технических рисков с использованием комплексной модели FLDS на примере строительства многоэтажных жилых зданий // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 12. С. 1608–1619. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1608-1619

Автор, ответственный за переписку: Отари Джемалиевич Чапидзе, cod95@inbox.ru.

Improving the analysis of technical risk factors using the integrated FLDS model on the example of the construction of multi-storey residential buildings

Azariy A. Lapidus, Otari D. Chapidze

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

ABSTRACT

Introduction. This study is aimed at developing a model of the life cycle of a multi-storey residential building, taking into account the factors of technical risks. This model makes it possible to identify the main factors of technical risks at different stages of a project's life and predict its behavior. After examining an extensive list of both domestic and foreign literature, it is clear that the systematization and classification of the elements of the life cycle of a construction object in conditions of technical risk factors is an urgent task in the construction industry. The purpose of the study is to develop the most effective mathematical model for determining and predicting the influence of technical risk factors on the life cycle of a multi-storey residential building.

Materials and methods. The study is based not only on an extensive review of scientific literature, whose attention is focused on technical risks, but also analyzed the stages of the life cycle of buildings and structures, used the method of analogies and the method of diagrams, based on the theory of fuzzy set and the Dempster-Schafer theory, a mathematical model of FLDS is formed, so an expert survey was conducted with leading experts in the construction industry, on the basis of which the selection of the main factors of technical risks is formed.

Results. The problem of analyzing technical risks in the construction industry plays a significant role, this is due to the construction of a significant number of modern structures that are unique in their kind, both from an architectural point of view, and from the point of view of the originality of design and technological solutions.

Conclusions. Due to the uncertainty of experts' opinions regarding the likelihood of occurrence and the degree of impact of risk factors, a demonstrative mathematical model of FLDS based on two theories is proposed, which allows numerically determining and distributing the influence of a risk factor by ranks. The result of the study shows that the application of the FLDS mathematical model will significantly increase the success of the project, allowing you to see the critical factors of technical risks at the initial stage of the life cycle of a construction project.

KEYWORDS: life cycle, source of risk, risk, project, construction, fuzzy logic

FOR CITATION: Lapidus A.A., Chapidze O.D. Improving the analysis of technical risk factors using the integrated FLDS model on the example of the construction of multi-storey residential buildings. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(12):1608-1619. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1608-1619 (rus.).

Corresponding author: Otari D. Chapidze, cod95@inbox.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время стремительно растет строительство многоэтажных жилых зданий, каждый объект по-своему уникален, отличается не только архитектурой и масштабом строительства, но и применением новых технологий, все это ведет к большому числу факторов технических рисков [1].

Риск — это событие или состояние, обусловленное неопределенностью, результат которого может привести как к положительному, так и к отрицательному эффекту в проекте [2, 3].

Технический риск — риск, причинами возникновения которого является непредсказуемое и (или) неконтролируемое функционирование (поведение или свойства) технических систем [3].

Каждый риск имеет множество факторов, которые ведут либо к одному, либо к нескольким последствиям. Вероятность риска в той или иной степени влияет на такие параметры проекта, как стоимость и продолжительность [4].

Существуют различные показатели технических рисков, некоторые из них известны [5, 6], эти риски идентифицированы и проанализированы, и на их воздействие имеется ресурс планирования риска, что, в свою очередь, помогает сделать их управляемыми, а то и вовсе исключить на раннем этапе их воздействие. А вот превентивное управление и принятие риска не способно воздействовать на неопределенные факторы риска, которые в строительных проектах достигают сотни, а то и более. Строительная индустрия по своей структуре является одной из самых сложных и опасных отраслей, обладает высокой динамикой стремительно меняющихся факторов, все это ведет к высокой степени неопределенности. Следовательно, несвоевременная оценка факторов технических рисков в строительной отрасли приведет к непоправимым последствиям, иным значениям стоимости и продолжительности сроков строительства, зачастую отличающихся от проектных, в сумме

эффект воздействия приведет к крупной финансовой потере.

Для оценки факторов технических рисков проекта используются различные методы, такие как метод экспертных оценок, метод аналогий, метод Дельфи и другие [7–9], но каждый имеет не только положительные, но и отрицательные стороны, следовательно, выбор наиболее эффективного и оптимального метода оценки риска проекта играет важную роль.

В исследовании математическая модель FLDS-Fuzzy logic и Dempster-Shafer разрабатывается на основе синтеза двух теорий, а именно:

- теория нечетких множеств, базовая составляющая нечеткой логики;
- теория Демпстера – Шафера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нечеткая логика была впервые введена профессором Лотфи Заде в 1965 г. и стала применяться в 1970-х годах. Нечеткая логика — это успешное приложение в контексте нечетких множеств, в которых переменные являются лингвистическими, а не числовыми. Нечеткая логика отличается от бинарной или аристотелевской логики, которая видит все двумя или более способами — да или нет, черный или белый, ноль или единица. Значения в этой логике меняются от нуля до единицы [10]. На рис. 1 изображена архитектура системы нечеткого вывода.

Система нечеткого вывода [11] обычно состоит из следующих компонентов:

- фаззификатор;
- матрица риска;
- механизм нечеткого вывода;
- дефаззификатор.

Далее описаны компоненты системы нечеткого вывода для оценки риска [10, 11]. Процесс преобразования явных переменных в лингвистические переменные называется фаззификацией.



Рис. 1. Система нечеткого вывода данных

Fig. 1. Fuzzy data output system

Фаззификация (введение нечеткости) — это установка соответствия между численным значением входной переменной системы нечеткого вывода и значением функции принадлежности соответствующего ей термина лингвистической переменной [12].

В системе нечеткого вывода входные и выходные данные системы нечеткого вывода сначала должны быть нечеткими. Вероятность возникновения и серьезность воздействия риска рассматриваются как два входа, а уровень риска — как выход системы нечетких выводов.

Лингвистические выражения и нечеткие множества, используемые для нечеткого определения входных и выходных данных системы нечеткого вывода, представлены в табл. 1 и на рис. 2–4 в оценке риска [11–13].

Определение степени риска производится на основе матрицы PI-риска, и соответственно данный компонент разработанной системы нечеткого вывода для оценки риска — это база знаний и нечеткие правила, включающие 25 нечетких правил «если», которые представлены в табл. 2–4.

Табл. 1. Лингвистические термины

Table 1. Linguistic terms

Входные и выходные значения Input and output values	Лингвистический термин Linguistic term	Определение Definition	Ранг Rank
Уровни вероятности Probability levels	Маловероятные Improbable (IM)	Крайне редкие, почти без вероятности возникновения Extremely rare, with almost no likelihood of occurrence	1
	Незначительные Remote (R)	Имеют небольшой шанс проявления Have a small chance of manifestation	2
	Случающиеся иногда Occasional (O)	Случаются с вероятностью 30–50 % Happen with a probability of 30–50 %	3
	Вероятные Probable (P)	Могут произойти с большой вероятностью May happen with a high probability	4
	Частые Frequent (F)	Почти наверняка проявятся и неизбежны Will almost certainly manifest and inevitable	5
Уровни влияния Input 2 Influence levels Input 2	Несущественные Negligible (N)	Не приносят реальных негативных последствий или не представляют существенной угрозы для организации или проекта Do not bring real negative consequences or pose a significant threat to the organization or project	1
	Малые Minor (M)	Имеют небольшой потенциал для негативных последствий, но не окажут существенного влияния на общий успех Have little potential for negative consequences, but will not significantly affect overall success	2

Продолжение табл. 1 / Continuation of the Table 1

Входные и выходные значения Input and output values	Лингвистический термин Linguistic term	Определение Definition	Ранг Rank
Уровни влияния Input 2 Influence levels Input 2	Умеренные Major (MA)	Могут привести к негативным последствиям, создавая умеренную угрозу для проекта или организации May lead to negative consequences, posing a moderate threat to a project or organization	3
	Критические Critical (C)	С существенными негативными последствиями, которые будут серьезно влиять на успех организации или проекта (необходимость закрыть проект или большое количество негативных событий) With significant negative consequences that will seriously affect the success of the organization or project (the need to close the project or a large number of negative events)	4
	Катастрофические Catastrophic (CA)	С крайне негативными последствиями, которые могут привести к закрытию или долгосрочному сбою деятельности всей компании. Требуют наибольшего внимания и ресурсов With extremely negative consequences that can lead to the closure or long-term disruption of the entire company. Demand the most attention and resources	5
Уровень риска Output Risk level Output	Незначительный Insignificant (IN)	Риск допустим без каких-либо смягчений. Последствия незначительны и вряд ли это произойдет. Эти типы угроз, как правило, игнорируются The risk is acceptable without any mitigation. The consequences are minor and unlikely to happen. These types of threats are generally ignored	1–4
	Терпимый Tolerable (T)	Может потребоваться частичное смягчение последствий. Вероятность возникновения не позволяет их игнорировать, а последствия могут быть ощутимыми. Если возможно, необходимо принять меры для предотвращения возникновения средних рисков, но следует помнить, что они не являются приоритетными и не могут критично влиять на успех организации или проекта Partial mitigation may be required. The likelihood of their occurrence does not allow them to be ignored, and the consequences can be tangible. If possible, measures should be taken to prevent the occurrence of medium risks, but it should be remembered that they are not a priority and cannot critically affect the success of an organization or project	5–8
	Существенный Substantial (SU)	Может потребоваться смягчение последствий. Имеют серьезные последствия и, вполне вероятно, реализуются. На них следует реагировать в ближайшем будущем Mitigation may be required. They have serious consequences and are likely to be implemented. They should be responded to in the near future	9–12
	Значительный Significant (S)	Для снижения риска необходимо принять меры по смягчению последствий. Критические риски, которые имеют серьезные последствия и имеют высокую вероятность возникновения. Имеют высокий приоритет. Следует немедленно предпринять меры по устранению или снижению возможных последствий To reduce the risk, it is necessary to take mitigation measures. Critical risks that have serious consequences and are highly likely to occur. High priority. Measures should be taken immediately to eliminate or reduce the possible consequences	13–16

Входные и выходные значения Input and output values	Лингвистический термин Linguistic term	Определение Definition	Ранг Rank
Уровень риска Output Risk level Output	Недопустимый Intolerable (INT)	Должны быть реализованы меры по снижению риска. Катастрофические риски, которые имеют серьезные последствия и имеют высокую вероятность возникновения. Имеют высший приоритет. Могут угрожать существованию организации или успешности выполнения большей части поставленных задач. Следует немедленно предпринять меры по устранению или снижению возможных последствий Risk mitigation measures should be implemented. Catastrophic risks that have serious consequences and a high likelihood of occurring. Have the highest priority. May threaten the existence of the organization or the success of most of the tasks assigned. Measures should be taken immediately to eliminate or reduce the possible consequences	17–25

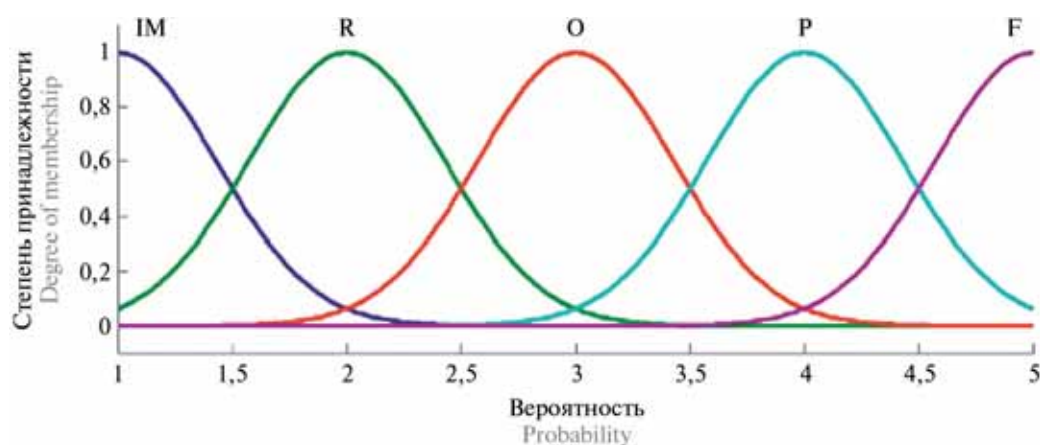


Рис. 2. Функция принадлежности для уровня вероятности

Fig. 2. Membership function for the probability level

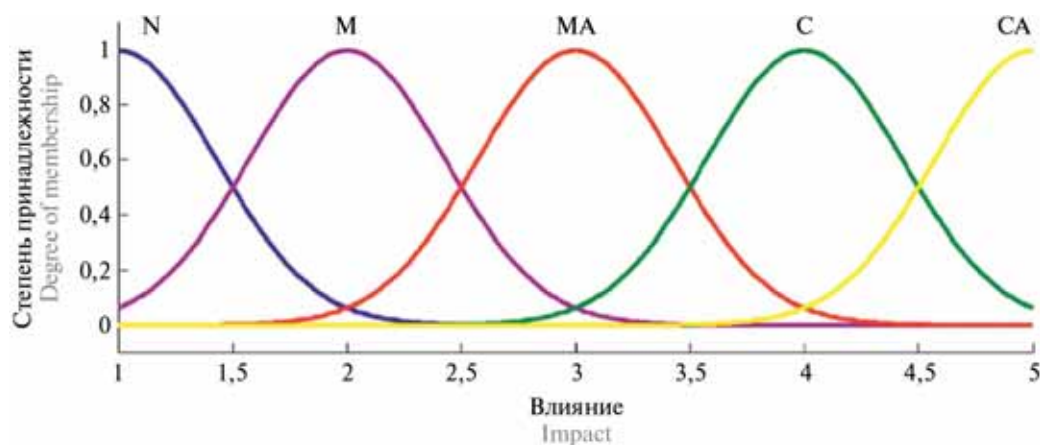


Рис. 3. Функция принадлежности для уровня влияния

Fig. 3. Membership function for influence level

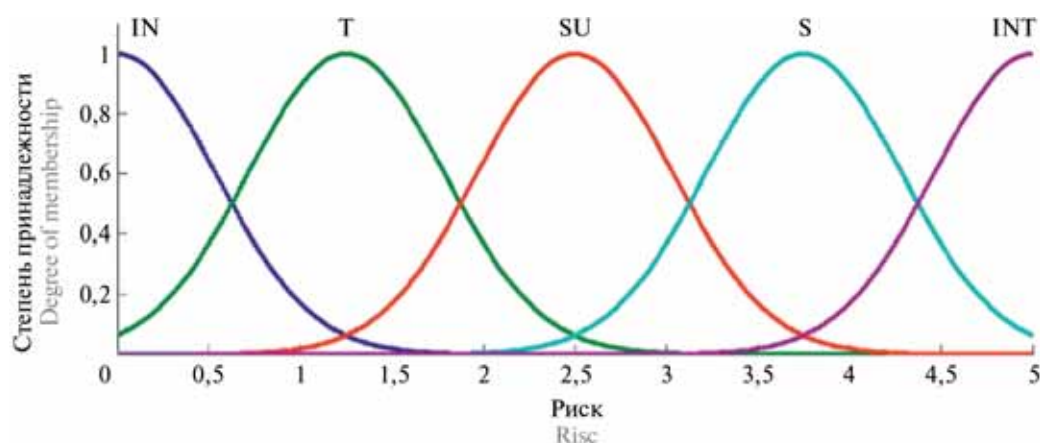


Рис. 4. Функция принадлежности для уровня риска

Fig. 4. Membership function for risk level

Табл. 2. Матрица PI-риска

Table 2. PI risk matrix

$R = PxI$		Вероятность Probability				
		IM	R	O	P	F
Степень влияния The degree of influence	N	IN	IN	IN	IN	T
	M	IN	IN	T	T	SU
	MA	IN	T	SU	SU	S
	C	IN	T	SU	S	IN
	CA	T	SU	S	IN	IN

Табл. 3. Матрица PI-риска с рангами

Table 3. Risk PI Matrix with ranks

$R = PxI$		Вероятность Probability				
		IM	R	O	P	F
Степень влияния The degree of influence	N	1	2	3	4	5
	M	2	4	6	8	10
	MA	3	6	9	12	15
	C	4	8	12	16	20
	CA	5	10	15	20	25

Матрица риска — это инструмент процесса управления угрозами, предназначенный для повышения объективности его интерпретации [11]. Чтобы поместить пункт в матрицу, необходимо присвоить ему рейтинг вероятности и величины ущерба

Следующий компонент разработанной системы нечеткого вывода для оценки риска — это механизм нечеткого вывода. Механизм логического вывода оценивает и делает логический вывод правил, используя алгоритмы логического вывода, и после агрегирования правил вывода блоком дефазификатора он преобразуется в явное или числовое значение. Механизм нечеткого вывода — это алгоритм Мамдани [11]. Метод максимума используется для агрегирования выходных данных, а метод центра тяжести — для дефазификации.

Индекс нечеткой оценки риска рассматривается как выходной параметр, он варьируется от 0 до 5. В этой статье риск разделен на пять равных частей, как показано на рис. 2–4. Риски представлены нечеткими множествами, диапазоны которых совпадают с лингвистическими терминами, приведенными в табл. 1. Используя соответствующую шкалу преобразования, лингвистические термины превращаются в нечеткие рейтинги. Один из ключевых моментов в нечетком моделировании — это определение

нечетких чисел, которые представляют собой расплывчатые концепции и выраженные неточными терминами на естественном языке [14].

В настоящей работе фаззификация распределяет системные переменные, включая вероятность P , уровень влияния I и уровни риска R с четкими цифрами, структура нечеткой модели представлена на рис. 5.

Задаем в математическую модель 25 правил в табл. 4 и производим процесс дефазификации [12, 13].

Дефазификация в системах нечеткого вывода — это процесс перехода от функции принадлежности выходной лингвистической переменной к ее четкому (числовому) значению. Цель дефазификации состоит в том, чтобы, используя результаты аккумуляции всех выходных лингвистических переменных, получить количественные значения для каждой выходной переменной, которые используются внешними по отношению к системе нечеткого вывода устройствами [11, 12].

Последний шаг в приближении — дефазификация.

Этот шаг содержит процесс замены нечеткого значения четким выводом, состоящим из процедуры взвешивания и усреднения выхода всех отдельных



Рис. 5. Структура вывода нечеткой модели

Fig. 5. Fuzzy model inference structure

Табл. 4. Таблица правил математической модели

Table 4. Mathematical model rule table

Номер Number	Описание Description
Правило 1 / Rule 1	Если вероятность маловероятна и последствия незначительны, то риск незначителен If the probability is unlikely and the consequences are small, the risk is insignificant
Правило 2 / Rule 2	Если вероятность маловероятна и последствия катастрофичны, то риск велик If the probability is unlikely and the consequences are catastrophic, then the risk is great
...	...
Правило 25 / Rule 25	Если вероятность частая и последствия критичны, то риск недопустим If the probability is frequent and the consequences are critical, the risk is unacceptable

нечетких правил. Состоит из шести следующих методов дефазификации [15]:

1. Средний центроид (CA).
2. Центр тяжести (COG).
3. Максимальное среднее значение по центру (MCA).
4. Среднее значение максимума (MOM).
5. Наименьшее из максимальных (SOM).
6. Наибольший из максимумов (LOM).

Центр тяжести (COG) является одним из самых популярных методов дефазификации нечеткого вывода функции, выбран метод из-за его простых вычислений и правдоподобия интуиции [16].

COG определяется следующим уравнением:

$$Z = \frac{\int \mu_i(x) x dx}{\int \mu_i(x) dx}, \quad (1)$$

где Z — дефазифицированный результат; x — выходная переменная; $\mu_i(x)$ — агрегированная функция принадлежности.

Процесс дефазификации создает четкую ценность из нечетких множеств, отражающих риск проекта (рис. 6).

Для усовершенствования математической модели нечеткого множества применим теорию Демпстера — Шафера.

Метод DS представляет собой более общую форму байесовского подхода, который имеет все его преимущества. Например, в методе ДШ, как и в байесовском методе, доступная априорная информация может быть включена в неточный вывод неопределенных показателей и выводимых результатов. Тем не менее использование априорной информации в методе ДШ не является обязательным. Это — одно из достоинств теории ДС [17, 18].

$$FLDS = m(A) = \frac{f_i - \min F}{\max F - \min F}, \quad (2)$$

где $m(A)$ — степень достоверности; $\max F = \max \{f_j | j \in [1, n]\}$; $\min F = \min \{f_j | j \in [1, n]\}$; n — количество факторов.

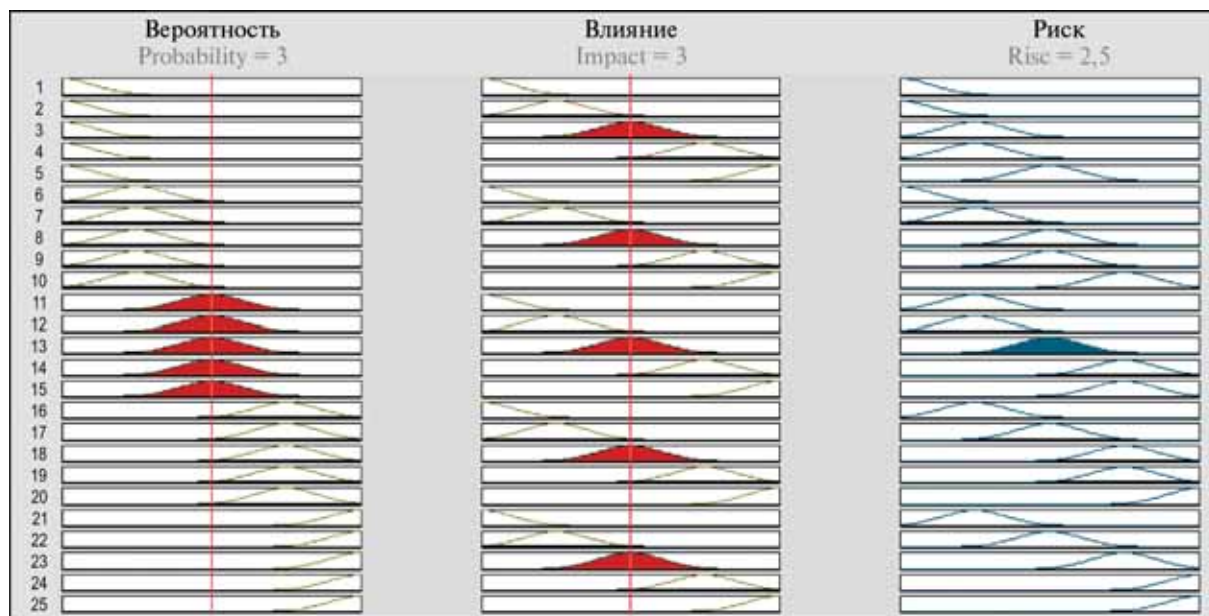


Рис. 6. Выходные данные из программного комплекса Polyspace на основе 25 правил

Fig. 6. Output from Polyspace software package based on 25 rules

По сравнению с другими вероятностными методами, такими как байесовский метод, в методе ДШ вычисление априорной вероятности не требуется, у него гибкая и понятная функция масс, формирование функции масс удобно и просто. Вычислительная сложность этого метода намного меньше, чем у байесовского метода [16, 19].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве примера рассмотрим применение математической модели к результатам экспертного

опроса факторов технических рисков при строительстве многоэтажных жилых зданий [5].

Некоторые результаты экспертного опроса представлены в табл. 5.

Требуется определить и проранжировать факторы технического риска для многоэтажного жилого здания по уровню риска FLDS, рассмотрим фактор риска «Результаты оценки технических условий»:

Этап 1. Производится первое ранжирование фактора риска, при помощи матрицы риска определяются значения риска, результат представлен в табл. 5.

Табл. 5. Анализ результатов экспертного опроса

Table 5. Analysis of the results of the expert survey

Фактор технического риска Technical risk factor	Вероятность Probability	Влияние Influence	Общепринятая методика Common practice		Нечеткий вывод Системный метод Fuzzy inference System method		FLDS	
			Риск Risc R = PI	Ранг Rank	Риск Risc	Ранг Rank	Риск Risc	Ранг Rank
Результаты инженерно-геологических изысканий Geotechnical survey results	2,05	4,70	9,635	3	3,3	3	4,269	1
Использование новых технологий Use of new technologies	1,90	4,68	8,892	4	3,15	4	4,078	3
Обследование и контроль качества Inspection and quality control	4,00	3,18	12,720	1	3,48	1	4,129	2

Фактор технического риска Technical risk factor	Вероятность Probability	Влияние Influence	Общепринятая методика Common practice		Нечеткий вывод Системный метод Fuzzy inference System method		FLDS	
			Риск Risc R = PI	Ранг Rank	Риск Risc	Ранг Rank	Риск Risc	Ранг Rank
Результаты оценки инфраструктуры Infrastructure assessment results	3,75	3,25	12,187	2	3,41	2	3,955	4
Результаты оценки технических условий The results of the assessment of the technical conditions	1,35	4,535	6,12	5	2,37	5	2,686	5

Этап 2. Используется алгоритм логического вывода, после агрегирования правил вывода блоком дефазификатора получаем явное числовое значение при помощи программного комплекса Polyspace, результат нечеткого вывода приведен в табл. 5.

Этап 3. К результату, полученному при помощи нечеткого вывода, применяем метод Демпстера – Шаффера, уточняем результаты расчета, получаем значение FLDS.

Этап 4. Анализ полученных результатов, определение ключевых факторов технического риска, управление риском [20–32], оценка величины влияния факторов на показатели стоимости и продолжительности.

Значение риска по FLDS — 2,686 показывает, что риск — значительный, уровень риска по лингвистическому термину — *S*, ранг 5. Для снижения риска необходимо принять меры по смягчению последствий. Имеет место высокий приоритет. Следует немедленно предпринять меры по устранению или снижению возможных последствий.

Значение по FLDS позволяет определить уточненный уровень риска в соответствии с правилами табл. 4 и своевременно оценить величину влияния риска на такие параметры, как продолжительность и стоимость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В связи с неопределенностью мнений экспертов относительно вероятности возникновения и степени воздействия факторов риска, предложена доказательная математическая модель FLDS, основанная на двух теориях, которая позволяет численно определить и распределить по рангам влияние фактора риска.

Результат исследования показывает, что применение математической модели FLDS значительно повысит успех при реализации проекта, позволяя увидеть критические факторы риска на начальной стадии жизненного цикла строительного проекта.

Сосредоточив свое внимание на критических факторах технических рисков в жизненном цикле многоэтажных жилых зданий, мы можем рационально распределить ресурсы на их устранение, спрогнозировать поведение этапов работ и своевременно устранить влияние факторов.

Будущие исследования в этой области необходимо сосредоточить на выявлении факторов технического риска. Для этого требуется создать базу данных факторов риска, с помощью которой мы сможем снизить частоту проявления рисков, при этом значительно увеличив успех реализации проекта, напрямую зависящий от таких параметров, как продолжительность и стоимость.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Асаул А.Н. Риски в деятельности строительной организации // Экономические проблемы и организационные решения по совершенствованию инвестиционно-строительной деятельности: сб. науч. тр. 2004. С. 8–12.
2. Луговцова Н.Ю. Надежность технических систем и техногенный риск: методические указания к выполнению практических работ по курсу «Надежность

технических систем и техногенный риск». Юрга : Типография ООО «МедиаСфера», 2015. С. 92–94.

3. Дорожкина Т.В., Крутиков В.К., Алексеева Е.В. Управление рисками: учебно-методическое пособие. Калуга : Издательство «Ваш ДомЪ», 2014. С. 230–233.

4. Липидус А.А., Сафарян Г.Б. Количественный анализ моделирования рисков производственно-ло-

гистических процессов в строительстве // Технология и организация строительного производства. 2017. № 3 (4). С. 6–9.

5. Ланидус А.А., Чанидзе О.Д. Факторы и источники риска в жилищном строительстве // Строительное производство. 2020. № 3. С. 2–9.

6. Ланидус А.А., Ратомская В.С., Чанидзе О.Д. Строительство промышленных объектов в условиях технических и экономических рисков, вызванных организационно-технологическими факторами // Строительное производство. 2020. № 4. С. 3–7.

7. Kendrick T. Identifying and managing project risk: Essential tools for failure-proofing your project. American Management Association, 2003. 335 p.

8. Karimi I., Hüllermeier E. Risk assessment system of natural hazards: a new approach based on fuzzy probability // Fuzzy Sets and Systems. 2007. Vol. 158. Issue 9. Pp. 987–999. DOI: 10.1016/j.fss.2006.12.013

9. Fouladgar M.M., Yazdani-Chamzini A., Zavadskas E.K. Risk evaluation of tunneling projects // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2012. Vol. 12. Issue 1. Pp. 1–12 DOI: 10.1016/j.acme.2012.03.008

10. Urbina A.G., Aoyama A. Measuring the benefit of investing in pipeline safety using fuzzy risk assessment // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2017. Vol. 45. Pp. 116–132. DOI: 10.1016/j.jlp.2016.11.018

11. Yazdani-Chamzini A. Proposing a new methodology based on fuzzy logic for tunnelling risk assessment // Journal of Civil Engineering and Management. 2014. Vol. 20. Issue 1. Pp. 82–94. DOI: 10.3846/13923730.2013.843583

12. Рубанов В.Г., Филатов А.Г. Интеллектуальные системы автоматического управления нечеткого управления в технических системах: учебное пособие. Белгород : Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. 171 с.

13. Jaderi F., Ibrahim Z.Z., Zahiri M.R. Criticality analysis of petrochemical assets using risk based maintenance and the fuzzy inference system // Process Safety and Environmental Protection. 2019. Vol. 121. Pp. 312–325. DOI: 10.1016/j.psep.2018.11.005

14. Nieto-Morote A., Ruz-Vila F. A fuzzy approach to construction project risk assessment // International Journal of Project Management. 2011. Vol. 29. Issue 2. Pp. 220–231. DOI: 10.1016/j.ijproman.2010.02.002

15. Wong B.K., Monaco J.A. A bibliography of expert system applications for business (1984–1992) // European Journal of Operational Research. 1995. Vol. 85. Issue 2. Pp. 416–432. DOI: 10.1016/0377-2217(95)00047-t

16. Basiri M.E., Naghsh-Nilchi A.R., Ghasem-Aghaee N. Sentiment prediction based on dempster-shafer theory of evidence // Mathematical Problems in Engineering. 2014. Vol. 2014. Pp. 1–13. DOI: 10.1155/2014/361201

17. Dempster A.P. A generalization of Bayesian inference // Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological). 1968. Vol. 30. Issue 2. Pp. 205–232. DOI: 10.1111/j.2517-6161.1968.tb00722.x

18. Fine T.L. A Book Review: A mathematical theory of evidence // Bulletin of the American Mathematical Society. 1977. Vol. 83. Issue 4. Pp. 667–672. DOI: 10.1090/s0002-9904-1977-14338-3

19. Jamshidi A., Yazdani-Chamzini A., Yakhchali S.H., Khaleghi S. Developing a new fuzzy inference system for pipeline risk assessment // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2013. Vol. 26. Issue 1. Pp. 197–208. DOI: 10.1016/j.jlp.2012.10.010

20. Богоявленский С.Б. Управление риском в социально-экономических системах: учебное пособие. СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского гос. ун-та экономики и финансов, 2010. 143 с.

21. Araghinejad S. Data-driven modeling: Using MATLAB® in water resources and environmental engineering // Water Science and Technology Library. 2014. DOI: 10.1007/978-94-007-7506-0

22. Beriha G.S., Patnaik B. Mahapatra S.S., Padhee S. Assessment of safety performance in Indian industries using fuzzy approach // Expert Systems with Applications. 2012. Vol. 39. Issue 3. Pp. 3311–3323. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.09.018

23. Hwang B.-G., Zhao X., Toh L.P. Risk management in small construction projects in Singapore: Status, barriers and impact // International Journal of Project Management. 2014. Vol. 32. Issue 1. Pp. 116–124. DOI: 10.1016/j.ijproman.2013.01.007

24. Goh C.S., Abdul-Rahman H., Samad Z.A. Applying risk management workshop for a public construction project: Case Study // Journal of Construction Engineering and Management. 2013. Vol. 139. Issue 5. Pp. 572–580. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000599

25. Fouladgar M.M., Yazdani-Chamzini A., Zavadskas E.K. Risk evaluation of tunneling projects // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2012. Vol. 12. Issue 1. Pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.acme.2012.03.008

26. Tamosaitiene J., Zavadskas E.K., Turkis Z. Multi-criteria risk assessment of a construction project // Procedia Computer Science. 2013. Vol. 17. Pp. 129–133. DOI: 10.1016/j.procs.2013.05.018

27. Mouatassim H., Ibenrissoul A. Proposal for an implementation methodology of key risk indicators system: Case of investment management process in Moroccan asset management company // Journal of Financial Risk Management. 2015. Vol. 04. Issue 03. Pp. 187–205. DOI: 10.4236/jfrm.2015.43015

28. Paluszek M., Thomas S. MATLAB Machine Learning. 2017. DOI: 10.1007/978-1-4842-2250-8

29. Wang S.Q., Dulaimi M.F., Aguria M.Y. Risk management framework for construction projects in developing countries // Construction Management and

Economics. 2004. Vol. 22. Issue 3. Pp. 237–252. DOI: 10.1080/0144619032000124689

30. Renuka S.M., Umarani C., Kamal S. A review on critical risk factors in the life cycle of construction projects // *Journal of Civil Engineering Research*. 2014. Vol. 4 (2A). Pp. 31–36. DOI: 10.5923/c.jce.201401.07

31. Yazdani-Chamzini A. Proposing a new methodology based on fuzzy logic for tunnelling risk

assessment // *Journal of Civil Engineering and Management*. 2014. Vol. 20. Issue 1. Pp. 82–94. DOI: 10.3846/13923730.2013.843583

32. Zheng L., Baron C. Using leading indicators to improve project performance measurement // *Journal of Systems Science and Systems Engineering*. 2019. Vol. 28. Issue 4. DOI: 10.1007/s11518-019-5414-z

Поступила в редакцию 13 сентября 2021 г.

Принята в доработанном виде 6 декабря 2021 г.

Одобрена для публикации 6 декабря 2021 г.

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

Отари Джемалиевич Чапидзе — аспирант кафедры технологии и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 6232-4673, ORCID: 0000-0001-7611-8679; cod95@inbox.ru.

Вклад авторов:

Липидус А.А. — научное руководство, концепция исследования, итоговые выводы.

Чапидзе О.Д. — написание научной статьи, развитие методологии, итоговые выводы.

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Asaul A.N. Risks in the activity of a construction organization. *Economic problems and organizational solutions to improve investment and construction activities: a collection of scientific papers*. 2004; 8-12. (rus.).

2. Lugovtsova N.Yu. *Reliability of technical systems and technogenic risk: guidelines for the implementation of practical work on the course "Reliability of technical systems and technogenic risk"*. Yurga, Printing house of LLC "Mediasfera", 2015; 92-94. (rus.).

3. Dorozhkina T.V., Krutikov V.K., Alekseeva E.V. *Risk management: training manual*. Kaluga, "Vash Dom" Publishing House, 2014; 230-233. (rus.).

4. Lapidus A.A., Safaryan G.B. Quantitative analysis of risk modeling of production and logistics processes in construction. *Technology and Organization of Construction Production*. 2017; 3(4):6-9. (rus.).

5. Lapidus A.A., Chapidze O.D. Factors and sources of risk in housing construction. *Construction Production*. 2020; 3:2-9. (rus.).

6. Lapidus A.A., Ratomskaia V.S., Chapidze O.D. Construction of industrial facilities in conditions of technical and economic risks caused by organizational and technological factors. *Construction Production*. 2020; 4:3-7. (rus.).

7. Kendrick T. *Identifying and managing project risk: Essential tools for failure-proofing your project*. American Management Association, 2003; 335.

8. Karimi I., Hüllermeier E. Risk assessment system of natural hazards: a new approach based on fuzzy probability. *Fuzzy Sets and Systems*. 2007; 158(9):987-999. DOI: 10.1016/j.fss.2006.12.013

9. Fouladgar M.M., Yazdani-Chamzini A., Zavadskas E.K. Risk evaluation of tunneling projects. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2012; 12(1):1-12. DOI: 10.1016/j.acme.2012.03.008

10. Urbina A.G., Aoyama A. Measuring the benefit of investing in pipeline safety using fuzzy risk assessment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2017; 45:116-132. DOI: 10.1016/j.jlp.2016.11.018

11. Yazdani-Chamzini A. Proposing a new methodology based on fuzzy logic for tunnelling risk assessment. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2014; 20(1):82-94. DOI: 10.3846/13923730.2013.843583

12. Rubanov V.G., Filatov A.G. *Intelligent automatic control systems fuzzy control in technical systems*. Belgorod, Publishing house of BSTU named after V.G. Shukhova, 2005; 171. (rus.).

13. Jaderi F., Ibrahim Z.Z., Zahiri M.R. Criticality analysis of petrochemical assets using risk based maintenance and the fuzzy inference system. *Process Safety and Environmental Protection*. 2019; 121:312-325. DOI: 10.1016/j.psep.2018.11.005

14. Nieto-Morote A., Ruz-Vila F. A fuzzy approach to construction project risk assessment. *International*

Journal of Project Management. 2011; 29(2):220-231. DOI: 10.1016/j.ijproman.2010.02.002

15. Wong B.K., Monaco J.A. A bibliography of expert system applications for business (1984–1992). *European Journal of Operational Research*. 1995; 85(2):416-432. DOI: 10.1016/0377-2217(95)00047-t

16. Basiri M.E., Naghsh-Nilchi A.R., Ghasem-Aghaee N. Sentiment prediction based on Dempster-Shafer theory of evidence. *Mathematical Problems in Engineering*. 2014; 2014:1-13. DOI: 10.1155/2014/361201

17. Dempster A.P. A generalization of Bayesian inference. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*. 1968; 30(2):205-232. DOI: 10.1111/j.2517-6161.1968.tb00722.x

18. Fine T.L. A Book Review: A mathematical theory of evidence. *Bulletin of the American Mathematical Society*. 1977; 83(4):667-672. DOI: 10.1090/s0002-9904-1977-14338-3

19. Jamshidi A., Yazdani-Chamzini A., Yakhchali S.H., Khaleghi S. Developing a new fuzzy inference system for pipeline risk assessment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2013; 26(1):197-208. DOI: 10.1016/j.jlp.2012.10.010

20. Bogoyavlensky S.B. *Risk management in socio-economic systems: a tutorial*. St. Petersburg, Saint Petersburg state university of economics, 2010; 143. (rus.).

21. Araghinejad S. Data-driven modeling: Using MATLAB® in water resources and environmental engineering. *Water Science and Technology Library*. 2014. DOI: 10.1007/978-94-007-7506-0

22. Beriha G.S., Patnaik B., Mahapatra S.S., Padhee S. Assessment of safety performance in Indian industries using fuzzy approach. *Expert Systems with Applications*. 2012; 39(3):3311-3323. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.09.018

23. Hwang B.-G., Zhao X., Toh L.P. Risk management in small construction projects in Singapore: Status, barriers and impact. *International Journal of Project Management*. 2014; 32(1):116-124. DOI: 10.1016/j.ijproman.2013.01.007

Journal of Project Management. 2014; 32(1):116-124. DOI: 10.1016/j.ijproman.2013.01.007

24. Goh C.S., Abdul-Rahman H., Samad Z.A. Applying risk management workshop for a public construction project: Case Study. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2013; 139(5):572-580. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000599

25. Fouladgar M.M., Yazdani-Chamzini A., Zavadskas E.K. Risk evaluation of tunneling projects. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2012; 12(1):1-12. DOI: 10.1016/j.acme.2012.03.008

26. Tamosaitiene J., Zavadskas E.K., Turkis Z. Multi-criteria Risk Assessment of a Construction Project. *Procedia Computer Science*. 2013; 17:129-133. DOI: 10.1016/j.procs.2013.05.018

27. Mouatassim H., Ibenrissoul A. Proposal for an implementation methodology of key risk indicators system: Case of investment management process in Moroccan asset Management Company. *Journal of Financial Risk Management*. 2015; 04(03):187-205. DOI: 10.4236/jfrm.2015.43015

28. Paluszek M., Thomas S. *MATLAB Machine Learning*. 2017. DOI: 10.1007/978-1-4842-2250-8

29. Wang S.Q., Dulaimi M.F., Aguria M.Y. Risk management framework for construction projects in developing countries. *Construction Management and Economics*. 2004; 22(3):237-252. DOI: 10.1080/0144619032000124689

30. Renuka S.M., Umarani C., Kamal S. A review on critical risk factors in the life cycle of construction projects. *Journal of Civil Engineering Research*. 2014; 4(2A):31-36. DOI: 10.5923/c.jce.201401.07

31. Yazdani-Chamzini A. Proposing a new methodology based on fuzzy logic for tunnelling risk assessment. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2014; 20(1):82-94. DOI: 10.3846/13923730.2013.843583

32. Zheng L., Baron C. Using leading indicators to improve project performance measurement. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*. 2019; 28(4). DOI: 10.1007/s11518-019-5414-z

Received September 13, 2021.

Adopted in revised form on December 6, 2021.

Approved for publication on December 6, 2021.

BIONOTES: **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; ID RISC: 8192-2653, Scopus: 57192378750, ORCID: 0000-0001-7846-5770; LapidusAA@mgsu.ru;

Otari D. Chapidze — postgraduate student 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; ID RISC: 6232-4673, ORCID: 0000-0001-7611-8679; cod95@inbox.ru.

Authors' contributions:

Lapidus A.A. — scientific leadership, research concept, final conclusions.

Chapidze O.D. — writing a scientific article, development of methodology, final conclusions.

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

The authors declare that they have no conflicts of interest.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Текст статьи набирается в файлах в формате .docx.

СТРУКТУРА НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья должна состоять из следующих структурных элементов: заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, основной текст, сведения об авторах, список литературы.

Заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, список литературы указываются последовательно на русском и английском языках.

Заголовок к статье должен соответствовать основному содержанию статьи. Заголовок статьи должен кратко (не более 10 слов) и точно отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. Он должен быть информативным и отражать уникальность научного творчества автора.

Список авторов в краткой форме отражает всех авторов статьи и указывается в следующем формате:

Имя Отчество Фамилия¹, Имя Отчество Фамилия²

¹ Место работы первого автора; город, страна

² Место работы второго автора; город, страна

* если авторов не более четырех, то необходимо указывать полные ФИО, от пяти авторов и более — допустимо использовать инициалы.

АННОТАЦИЯ

Основной принцип создания аннотации — информативность. Объем аннотации — от 200 до 250 слов.

Структура и содержание аннотации должны соответствовать структуре и содержанию основного текста статьи.

Аннотация к статье должна представлять краткую характеристику научной статьи. Задача аннотации — дать возможность читателю установить ее основное содержание, определить ее релевантность и решить, следует ли обращаться к полному тексту статьи.

Четкое структурирование аннотации позволяет не упустить основные элементы статьи. Структура аннотации аналогична структуре научной статьи и содержит следующие основные разделы:

- **Введение** — содержит описание предмета, целей и задач исследования, актуальность.
- **Материалы и методы** (или методология проведения работы) — описание использованных в исследовании информационных материалов, научных методов или методики проведения исследования
- **Результаты** — приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Предпочтение отдается новым результатам и выводам, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.
- **Выводы** — четкое изложение выводов, которые могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, описанными в статье.
- **Ключевые слова** — перечисляются через запятую, количество — от 7 до 10 слов.

Благодарности. Краткое выражение благодарности персонам и/или организациям, которые оказали помощь в выполнении исследования или высказывали критические замечания в адрес вашей статьи. Также в разделе указывается источники финансирования исследования от организаций и фондов организациям и фондам, т.е. за счет каких грантов, контрактов, стипендий удалось провести исследование. Раздел приводится при необходимости.

Аннотация не должна содержать:

- избыточных вводных фраз («Автор статьи рассматривает...», «В данной статье...» и т.д.);
- абстрактного указания на время написания статьи («В настоящее время...», «На данный момент...», «На сегодняшний день...» и т.д.);
- общего описания;
- цитат, таблиц, диаграмм, аббревиатур;
- ссылок на источники литературы;
- информацию, которой нет в статье.

Англоязычная аннотация пишется по тем же правилам. Отметим, что английская аннотация не обязательно должна быть точным переводом русской.

Следует обращать особое внимание на корректность употребления терминов. Избегайте употребления терминов, являющихся прямой калькой русскоязычных. Необходимо соблюдать единство терминологии в пределах аннотации.

Ключевые слова – прообраз статьи в поисковых системах, те точки, по которым читатель может найти вашу статью и определить предметную область текста. Чтобы определить основные ключевые слова для статьи, рекомендуется представить, по каким поисковым запросам читатели могут искать вашу статью. Как правило, ключевые слова также могут включать основную терминологию.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ

Основной текст научной статьи, представляемой в журнал, должен быть оформлен в соответствии со стандартом IMRaD и включать следующие разделы:

- Введение;
- Материалы и методы;
- Результаты исследования;
- Заключение и обсуждение.

РИСУНКИ И ТАБЛИЦЫ

Рисунки и таблицы следует вставлять в текст статьи сразу после того абзаца, в котором рисунок впервые упоминается. Рисунки и таблицы должны быть оригинальными (либо с указанием источника), хорошего качества (не менее 300 dpi). Оригиналы рисунков предоставляются в файлах формата .jpg, .tiff (название файла должны соответствовать порядковому номеру рисунка в тексте). Размер шрифта должен соответствовать размеру шрифта основного текста статьи. Линии обязательно не тоньше 0,25 пунктов.

Заголовки таблиц и рисунков выравниваются по левому краю. Заголовок таблицы располагается над ней, начинаясь с сокращения «Табл.» и порядкового номера таблицы, подпись к рисунку располагается под ним, начинаясь с сокращения «Рис.» и порядкового номера. Рисунки и таблицы позиционируются по центру страницы.

Подрисунковые 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 литературы составляется в порядке упоминания в тексте. Порядковый номер источника в тексте (ссылка) заключается в квадратные скобки. Текст статьи должен содержать ссылки на все источники из списка литературы. При наличии ссылки должны содержать идентификаторы DOI.

Список литературы на русском языке оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Список литературы 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 литературы и сведения об авторах указываются последовательно на русском и английском языках.

Нормативные документы (постановления, распоряжения, уставы), ГОСТы, справочная литература не указываются в списках литературы, оформляются в виде сносок.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В Сведениях об авторах (Bionotes) представляется основная информация об авторском коллективе в следующем формате.

Имя, Отчество, Фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации; адрес электронной почты; ORCID, ResearcherID и др. (при наличии).

Сведения об авторах представляются на русском и английском языках.

Сведения об авторах на английском языке даются в полном виде, без сокращений слов. Приводятся официально установленные англоязычные названия организаций и их подразделений. Опускаются элементы, характеризующие правовую форму учреждения (организации) в названиях вузов.

Автор должен придерживаться единообразного написания фамилии, имени, отчества во всех статьях. Эта информация для корректной индексации должна быть указана в других статьях, профилях автора в Международных базах данных Scopus/WoS и т.д.

СВЕДЕНИЯ О ВКЛАДЕ КАЖДОГО АВТОРА

Сведениям предшествуют слова «Вклад авторов:» (Contribution of the authors:). После фамилии и инициалов автора в краткой форме описывается его личный вклад в написание статьи (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т.д.).

Сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализацию такого конфликта в случае его наличия указывают после всех данных о вкладе каждого автора.

Образец:

Вклад авторов:

Фамилия И.О. — научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы.

Фамилия И.О. — участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

Фамилия И.О. — scientific management; research concept; methodology development; participation in development of curricula and their implementation; writing the draft; final conclusions.

Фамилия И.О. — participation in development of curricula and their implementation; follow-on revision of the text; final conclusions.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

КАК ПОДГОТОВИТЬ ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ, ЧТОБЫ ЕЕ ПРИНЯЛИ К ПУБЛИКАЦИИ?

ЗАГОЛОВОК

Заголовок статьи должен **кратко и точно** (не более 10 слов) отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. В него необходимо как вложить информативность, так и отразить привлекательность, уникальность научного творчества автора.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ

Основной текст научной статьи, представляемой в журнал для рассмотрения вопроса о ее публикации, должен быть оформлен в соответствии со стандартом IMRaD и включать следующие разделы: введение (Introduction), материалы и методы (Materials and methods), результаты исследования (Result), заключение и обсуждение (Conclusion and discussion).

Введение (Introduction). Отражает то, какой проблеме посвящено исследование. Осуществляется постановка научной проблемы, ее актуальность, связь с важнейшими задачами, которые необходимо решить, значение для развития определенной отрасли науки или практической деятельности.

Во введении должна содержаться информация, которая позволит читателю понять и оценить результаты исследования, представленного в статье без дополнительного обращения к другим литературным источникам. Во введении автор осуществляет обзор проблемной области (литературный обзор), в рамках которой осуществлено исследование, обозначает проблемы, не решенные в предыдущих исследованиях, которые призвана решить данная статья. Кроме этого, в нем выражается главная идея публикации, которая существенно отличается от современных представлений о проблеме, дополняет или углубляет уже известные подходы к ней; обращается внимание на введение в научное обращение новых фактов, выводов, рекомендаций, закономерностей. Цель статьи вытекает из постановки научной проблемы.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ЛИТЕРАТУРНОГО ОБЗОРА

В Список литературы рекомендуется включать от 20 до 40 источников, не учитывая ссылки на нормативные документы, интернет-ресурсы (сайты сети Интернет, не являющиеся периодическими изданиями), отчеты, а также источники, отсутствующие в каталогах ведущих российских библиотек-депозитариев (ГПНТБ, РНБ, РГБ), архивах и т.п. Подобные источники приводят в сносках внизу страницы сверх минимально рекомендуемого порога.

Не рекомендуется ссылаться на интернет-ресурсы, не содержащие научную информацию, учебники, учебные и методические пособия. В числе источников должно быть не менее 10 иностранных источников (для статей на английском языке не менее трех российских). Не менее шести из иностранных и не менее шести из российских источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования: Web of Science/Scopus или Ядро РИНЦ. Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее восьми статей из научных журналов не старше 10 лет, из них четыре — не старше трех лет. В списке источников должно быть не более 10 % работ, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Материалы и методы (Materials and methods). Отражает то, как изучалась проблема. Описываются процесс организации эксперимента, примененные методики, обосновывается их выбор. Детализация описания должна быть настолько подробной, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести их, пользуясь лишь текстом статьи.

Результаты (Result). В разделе представляется систематизированный авторский аналитический и статистический материал. Результаты проведенного исследования необходимо описывать достаточно полно, чтобы читатель мог проследить его этапы и оценить обоснованность сделанных автором выводов. Это основной раздел, цель его — при помощи анализа, обобщения и разъяснения данных доказать рабочую гипотезу (гипотезы). Результаты при необходимости подтверждаются иллюстрациями (таблицами, графиками, рисунками), которые представляют исходный материал или доказательства в свернутом виде. Важно, чтобы проиллюстрированная информация не дублировала уже приведенную в тексте. Представленные в статье результаты сопоставляются с предыдущими работами в этой области как автора, так и других исследователей.

Заключение (Conclusion and discussion) содержит краткую формулировку результатов исследования. В нем в сжатом виде повторяются главные мысли основной части работы. Повторы излагаемого материала лучше оформлять новыми фразами, отличающимися от высказанных в основной части статьи. В этом разделе необходимо сопоставить полученные результаты с обозначенной в начале работы целью. В заключении суммируются результаты осмысления темы, делаются выводы, обобщения и рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В заключительную часть статьи желательно включить попытки прогноза развития рассмотренных вопросов.

КАК ОФОРМИТЬ СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Список источников на русском языке оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Образец:

Литература

1. Голицын Г.С. Парниковый эффект и изменения климата // Природа. 1990. № 7. С. 17–24.

2. Шелушин Ю.А., Макаров К.Н. Проблемы и перспективы гидравлического моделирования волновых процессов в искаженных масштабах // Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. Вып. 2. Ст. 4. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.2.4

Список литературы **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 литературы редакция рекомендует использовать ресурс *Citethisforme.com*.

ШАБЛОН СТАТЬИ

Тип статьи

Тип статьи — научная статья, обзорная статья, редакционная статья, дискуссионная статья, персоналии, редакторская заметка, рецензия на книгу, рецензия на статью, спектакль и т.п., краткое сообщение.

УДК 11111

DOI

ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ

должен кратко (не более 10 слов) и точно отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. В него необходимо как вложить информативность, так и отразить привлекательность, уникальность научного творчества автора.

Имя Отчество Фамилия¹, Имя Отчество Фамилия²...

¹ Место работы первого автора; город, страна

² Место работы первого автора; город, страна

* если авторов не более четырех, то необходимо указывать полные ФИО, от пяти авторов и более — допустимо использовать инициалы.

Аннотация (должна содержать от 200 до 250 слов), в которую входит информация под заголовками: **Введение, Материалы и методы, Результаты, Выводы.**

Введение: приводятся характеристики работы — если не ясно из названия статьи, то кратко формулируются предмет исследования, его актуальность и научная новизна, а также практическая значимость (общественная и научная), цель и задачи исследования. Лаконичное указание проблем, на решение которых направлено исследование, или научная гипотеза исследования.

Материалы и методы: описание применяемых информационных материалов и научных методов.

Результаты: развернутое представление результатов исследования. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории, а также данным, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.

Выводы: аргументированное обоснование ценности полученных результатов, рекомендации по их использованию и внедрению. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, новыми гипотезами, описанными в статье.

Приведенные части аннотации следует выделять соответствующими подзаголовками и излагать в данных разделах релевантную информацию. См. рекомендации по составлению аннотации.

Ключевые слова: 7–10 ключевых слов.

Ключевые слова являются поисковым образом научной статьи. Во всех библиографических базах данных возможен поиск статей по ключевым словам. В связи с этим они должны отражать основную терминологию научного исследования и не повторять название статьи.

Благодарности (если нужно).

В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам.

Автор, ответственный за переписку: Имя Отчество Фамилия, адрес электронной почты для связи.

ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

И.О. Фамилия¹, И.О. Фамилия²... на английском языке

¹ Место работы первого автора; город, страна — на английском языке

² Место работы первого автора; город, страна — на английском языке

* если авторов не более четырех, то необходимо указывать полные ФИО, от пяти авторов и более — допустимо использовать инициалы.

Abstract (200–250 слов)

Introduction: text, text, text.

Materials and methods: text, text, text.

Results: text, text, text.

Conclusions: text, text, text.

Key words: text, text, text.

Acknowledgements: text, text, text.

Corresponding author: Имя Отчество Фамилия, адрес электронной почты для связи — на английском языке.

ВВЕДЕНИЕ

Задача введения — обзор современного состояния рассматриваемой в статье проблематики, обозначение научной проблемы и ее актуальности.

Введение должно включать обзор современных оригинальных российских и зарубежных научных достижений в рассматриваемой предметной области, исследований и результатов, на которых базируется представляемая работа (Литературный обзор). Литературный обзор должен подчеркивать актуальность и новизну рассматриваемых в исследовании вопросов.

Во введении должна содержаться информация, которая позволит читателю понять и оценить результаты исследования, представленного в статье.

Литературный обзор. Список источников включает от 20 до 50 источников, не учитывая ссылки на нормативные документы (ГОСТ, СНИП, СП), интернет-ресурсы (сайты сети Интернет, не являющиеся периодическими изданиями), отчеты, а также источники, отсутствующие в каталогах ведущих российских библиотек-депозитариев (ГПНТБ, РНБ, РГБ), архивах и т.п. Подобные источники следует указывать в списке литературы сверх минимально установленного порога. Не рекомендуется ссылаться на интернет-ресурсы, не содержащие научную информацию, учебники, учебные и методические пособия.

Уровень публикации определяют полнота и представительность источников. Не менее шести из иностранных и не менее шести из российских источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования:

- Web of Science <http://webofknowledge.com>
- Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
- ядро Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) <http://elibrary.ru>

Англоязычных источников включают в список не менее 50 %, за последние три года — не менее половины. Рекомендуется использовать оригинальные источники не старше 10 лет.

Ссылки на источники приводятся в статье в квадратных скобках. Источники нумеруются по порядку упоминания в статье.

Завершают введение к статье постановка и описание цели и задачи приведенной работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Раздел описывает методику проведения исследования. Обоснование выбора темы (названия) статьи. Сведения о методе, приведенные в разделе, должны быть достаточными для воспроизведения его квалифицированным исследователем.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В этой части статьи должен быть представлен систематизированный авторский аналитический и статистический материал. Результаты проведенного исследования необходимо описывать так, чтобы читатель мог проследить его этапы и оценить обоснованность сделанных автором выводов. Это основной раздел, цель которого — при помощи анализа, обобщения и разъяснения данных доказать рабочую гипотезу (гипотезы). Результаты при необходимости подтверждаются иллюстрациями (таблицами, графиками, рисунками), которые представляют исходный материал или доказательства в свернутом виде. Важно, чтобы проиллюстрированная информация не дублировала уже приведенную в тексте. Представленные в статье результаты следует сопоставить с предыдущими работами в этой области как автора, так и других исследователей. Такое сравнение дополнительно раскроет новизну проведенной работы, придаст ей объективность. Результаты исследования должны быть изложены кратко, но при этом содержать достаточно информации для оценки сделанных выводов. Не принято в данном разделе приводить ссылки на литературные источники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Заключение содержит краткую формулировку результатов исследования (выводы). В этом разделе показывают, как полученные результаты обеспечивают выполнение поставленной цели исследования, указывают, что поставленные задачи авторами были решены. Приводятся обобщения и даются рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В рамках обсуждения желательно раскрыть перспективы развития темы.

В данном разделе не приводят ссылки на источники.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ (REFERENCES)

Оформляется на русском и английском языках.

Расположение источников в списке – в строгом соответствии с порядком упоминания в тексте статьи.

Библиографическое описание документов (в том числе и электронных) на русском языке оформляется в соответствии с требованиями **ГОСТа Р 7.0.5–2008**.

Библиографическое описание документов (в том числе и электронных) на английском языке оформляется в стиле «Ванкувер».

Русскоязычные источники необходимо приводить в официальном варианте перевода (т.е. том, который размещен в самом издании; при наличии). Название города издания приводится полностью, в английском написании. Названия журналов и издательств приводятся либо официальные английские (если есть), либо транслитерированные. В конце описания источника в скобках указывается язык источника (rus.).

Для изданий следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет. Интересующийся читатель должен иметь возможность найти указанный литературный источник в максимально сжатые сроки.

Если у статьи (издания) есть DOI, его обязательно указывают в библиографическом описании источника.

Важно правильно оформить ссылку на источник.

Пример оформления:

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самарин О.Д. О расчете охлаждения наружных стен в аварийных режимах теплоснабжения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 46–50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (дата обращения: 04.12.18).

2. Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Математическая модель тепломассопереноса в пористом теле // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8. № 3. С. 35–53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3

REFERENCES

1. Samarin O.D. On calculation of external walls coling in emergency condition of heat supply. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Construction*. 2007; 2:46-50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (Accessed 19th June 2015). (rus.).

2. Musorina T.A., Petrichenko M.R. Mathematical model of heat and mass transfer in porous body. *Construction: science and education*. 2018; 8(3):35-53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3 (rus.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Оформляются на русском и английском языках.

Об авторах: **Имя, отчество, фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации; адрес электронной почты;

Имя, отчество, фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение, **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор, почтовый адрес организации, адрес электронной почты.

Вклад авторов: Фамилия И.О. — описание личного вклада в написание статьи в краткой форме (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т. д.).

Пример:

Артемова С.С. — научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы. Митрохин В.В. — участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

После «Информации об авторах» приводят сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализацию такого конфликта в случае его наличия. Если в статье приводят данные о вкладе каждого автора, то сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов указывают после них.

Пример:

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах на английском языке приводятся в полном виде, без сокращений слов. Приводятся официально установленные англоязычные названия организаций и их подразделений. Опускаются элементы, характеризующие правовую форму учреждения (организации) в названиях вузов.

Автор должен придерживаться единообразного написания фамилии, имени, отчества во всех статьях. Эта информация для корректной индексации должна быть указана в других статьях, профилях автора в Международных базах данных Scopus / WoS и т.д.

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.

Contribution of the authors: Фамилия И.О. — описание личного вклада в написание статьи в краткой форме (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т.д. / conceptualization, methodology, data gathering and processing, writing of the article, scientific editing of the text, supervision etc.) на английском языке.

После «Информации об авторах» приводят сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализацию такого конфликта в случае его наличия. Если в статье приводят данные о вкладе каждого автора, то сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов указывают после них.

ВНИМАНИЕ! Все названия, подписи и структурные элементы рисунков, графиков, схем, таблиц оформляются на русском и английском языках.

Форма № ПД-4						
Извещение Кассир	УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001 (наименование получателя платежа) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <tr> <td style="width: 50%;">7 7 1 6 1 0 3 3 9 1</td> <td style="width: 50%;">0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(ИНН получателя платежа)</td> <td style="text-align: center;">(номер счета получателя платежа)</td> </tr> </table> в <u>ГУ Банка России по ЦФО</u> БИК <u>0 0 4 5 2 5 9 8 8</u> (наименование банка получателя платежа) КБК <u>0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0</u> ОКТМО <u>4 5 3 6 5 0 0 0</u> Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз. подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь 2021 г. (наименование платежа) Ф.И.О. _____ плательщика _____ Адрес _____ плательщика _____ Вестник МГСУ (номер лицевого счета (код) плательщика) Сумма платежа <u>3 822</u> руб. <u>00</u> коп. услуги _____ руб. _____ коп. Итого _____ руб. _____ коп. « _____ » _____ 20 _____ г. С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен. Сумма платы за _____ Подпись плательщика _____	7 7 1 6 1 0 3 3 9 1	0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0	(ИНН получателя платежа)	(номер счета получателя платежа)	
	7 7 1 6 1 0 3 3 9 1	0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0				
	(ИНН получателя платежа)	(номер счета получателя платежа)				
	Форма № ПД-4 УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001 (наименование получателя платежа) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <tr> <td style="width: 50%;">7 7 1 6 1 0 3 3 9 1</td> <td style="width: 50%;">0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(ИНН получателя платежа)</td> <td style="text-align: center;">(номер счета получателя платежа)</td> </tr> </table> в <u>ГУ Банка России по ЦФО</u> БИК <u>0 0 4 5 2 5 9 8 8</u> (наименование банка получателя платежа) КБК <u>0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0</u> ОКТМО <u>4 5 3 6 5 0 0 0</u> Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз. подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь 2021 г. (наименование платежа) Ф.И.О. _____ плательщика _____ Адрес _____ плательщика _____ Вестник МГСУ (номер лицевого счета (код) плательщика) Сумма платежа <u>3 822</u> руб. <u>00</u> коп. услуги _____ руб. _____ коп. Итого _____ руб. _____ коп. « _____ » _____ 20 _____ г. С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен. Сумма платы за _____ Подпись плательщика _____	7 7 1 6 1 0 3 3 9 1	0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0	(ИНН получателя платежа)	(номер счета получателя платежа)	
	7 7 1 6 1 0 3 3 9 1	0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0				
	(ИНН получателя платежа)	(номер счета получателя платежа)				
	Квитанция Кассир	Форма № ПД-4 УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001 (наименование получателя платежа) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <tr> <td style="width: 50%;">7 7 1 6 1 0 3 3 9 1</td> <td style="width: 50%;">0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(ИНН получателя платежа)</td> <td style="text-align: center;">(номер счета получателя платежа)</td> </tr> </table> в <u>ГУ Банка России по ЦФО</u> БИК <u>0 0 4 5 2 5 9 8 8</u> (наименование банка получателя платежа) КБК <u>0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0</u> ОКТМО <u>4 5 3 6 5 0 0 0</u> Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз. подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь 2021 г. (наименование платежа) Ф.И.О. _____ плательщика _____ Адрес _____ плательщика _____ Вестник МГСУ (номер лицевого счета (код) плательщика) Сумма платежа <u>3 822</u> руб. <u>00</u> коп. услуги _____ руб. _____ коп. Итого _____ руб. _____ коп. « _____ » _____ 20 _____ г. С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен. Сумма платы за _____ Подпись плательщика _____	7 7 1 6 1 0 3 3 9 1	0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0	(ИНН получателя платежа)	(номер счета получателя платежа)
	7 7 1 6 1 0 3 3 9 1	0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0				
	(ИНН получателя платежа)	(номер счета получателя платежа)				

Бланк для оплаты полугодовой подписки через редакцию (оплата в банке).

ВНИМАНИЕ!

Если вы оплатили подписку по форме ПД-4 в банке, то для своевременной отправки вам номеров журнала безотлагательно пришлите копию платежного документа и сообщите ваш адрес с почтовым индексом, Ф.И.О. на e-mail: podpiska@mgsu.ru.

Подписчики — работники НИУ МГСУ могут заполнить бланк на свое имя и обратиться в отдел распространения и развития Издательства МИСИ — МГСУ для оформления подписки.

Телефон: (495)287-49-14 (вн. 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/>



