

DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

Том 15. Выпуск 5
2020

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

Сквозной номер 140

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction and Architecture

Volume 15. Issue 5
2020

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 публикация, распространение результатов российских и зарубежных научных исследований для обеспечения широкого обмена научной информацией, формирования открытого информационного кластера в области строительной науки и образования, повышения международного авторитета российской строительной науки.

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, корп. 8. Тел.: (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75. Сайт: www.mgsu.ru E-mail: ric@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:	vestnikmgsu@mgsu.ru
Тел.:	(499) 188-29-75
Подписка и распространение:	Журнал распространяется бесплатно в открытом доступе и по подписке. Подписка по Объединенному каталогу «Пресса России». Подписной индекс 83989. Цена свободная.
Подписан в печать	25.05.2020.
Подписан в свет	29.05.2020.

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 16,51. Тираж 100 экз. Заказ № 62

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, президент, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Заместители главного редактора

Евгений Валерьевич Королев, д-р техн. наук, проф., зам. директора НОЦ «Нанотехнологии и наноматериалы», НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

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

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

Дмитрий Николаевич Силка, д-р экон. наук, доц., зав. каф. экономики и управления в строительстве, 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

Зав. редакцией

Анна Александровна Дядичева

Дизайн и верстка

Анна Александровна Дядичева

Редакторы

Татьяна Владимировна Бердникова

Перевод на английский язык

Ольга Валерьевна Юденкова

Корректор

Любовь Владимировна Светличная

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

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, ИПМ им. А.Ю. Ишлинского РАН, 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

Андрей Анатольевич Волков, председатель, член-корр., член президиума Российской академии архитектуры и строительных наук, д-р техн. наук, проф., проф. каф. информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве, НИУ МГСУ, 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

Георгий Васильевич Есаулов, акад. Российской академии архитектуры и строительных наук, д-р архитектуры, проф., проректор по научной работе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский архитектурный институт (Государственная академия)» (МАРХИ), 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

Андрей Александрович Морозенко, д-р техн. наук, доц., зав. каф. строительства объектов тепловой и атомной энергетики, 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

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

Олег Григорьевич Примин, д-р техн. наук, проф., зам. директора по научным исследованиям, АО «МосводоканалНИИпроект», 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

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: ric@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
Subscription:	Citizens of the CIS and other foreign countries can subscribe by catalog agency “Informnauka”, magazine subscription index 18077.
Signed for printing:	25.05.2020

Distributed by subscription

© Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)”, 2020

Editor-in-Chief

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

Deputy Editor-in-Chief

Evgeniy V. Korolev, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

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

Editorial Board

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

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

Rolf Katzenbach, Doctor of Engineering, Professor, 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

Miroslav Premrov, University of Maribor, Republic of Slovenia

Roode Liias, PhD, Professor (construction economics and management) Tallin University of Technology, Estonia

Dmitry N. Silka, 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

Josef Vichan, University of Zilina, Slovak Republic

Joost Walraven, Delft University of Technology, Netherlands

Zbigniew Wojcicki, Wroclaw University of Technology, Republic of Poland

Editorial team of issues

Managing editor

Anna A. Dyadicheva

Editors

Tat'yana V. Berdnikova

Corrector

Lyubov' V. Svetlichnaya

Layout

Anna A. Dyadicheva

Russian-English translation

Ol'ga V. Yudenkova

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

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

Georgi V. Esaulov, Moscow Institute of Architecture (State Academy), 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

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

Andrei A. Morozenko, 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

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

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

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

Andrey A. Volkov, 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

СОДЕРЖАНИЕ

КОЛОНКА РЕДАКТОРА

Д.В. Козлов

Военные страницы отечественной гидротехники 631

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

Е.В. Щербина, А.А. Белал, А. Салмо

**Градостроительное восстановление исторических центров сирийских городов,
разрушенных войной 632**

А.А. Дембич, Ю.А. Закирова

Проблемы пространственного планирования г. Набережные Челны в постсоветский период . . 641

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

А.З. Тер-Мартirosян, Ле Дык Ань, А.В. Манукян

Влияние разжижения грунтов на расчетную несущую способность свай 655

Н.С. Окороков, А.Н. Коркишко, А.П. Коржикова

Экспериментальное исследование принудительно вентилируемой свай 665

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Д.А. Немущенко, В.В. Ларичкин, А.П. Онпиченко, В.С. Субботин

Исследование распределения наночастиц диоксида кремния в воде затвердения 678

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

А.Г. Первов, К.В. Тихонов

**Новая технология обработки сточных вод, прошедших биологическую очистку,
методом обратного осмоса: утилизация концентрата (на английском языке) 688**

ГИДРАВЛИКА. ГЕОТЕХНИКА. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

В.А. Политько, С.В. Соломатин, А.И. Каракозова, П.А. Трусков

**Совершенствование методов расчета нагрузок от воздействия льда
на гидротехнические сооружения 701**

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Е.А. Король, А.А. Журавлева

**Определение расходов топливно-энергетических ресурсов
при производстве механизированных работ в малоэтажном строительстве 712**

Е.В. Горбенкова

Особенности трансформации сельского расселения Беларуси 729

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ. ДИСКУССИИ И РЕЦЕНЗИИ. ИНФОРМАЦИЯ

Е.А. Корчагин

Водоснабжение войск в Великой Отечественной войне 746

Требования к оформлению научной статьи 753

CONTENTS

EDITOR COLUMN

D.V. Kozlov

Military pages of Russian hydraulic engineering 631

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION AND REFURBISHMENT

Elena V. Shcherbina, Ali A. Belal, Ali Salmo

Historic centres of Syrian towns ruined by the war: restoration through urban planning 632

Aleksandr A. Dembich, Yuliya A. Zakirova

Spatial planning problems of Naberezhnye Chelny in the post-soviet period 641

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

Armen Z. Ter-Martirosyan, Le Duc Anh, Artur V. Manukyan

Influence of soil liquefaction on the design bearing capacity of a single pile. 655

Nikita S. Okorokov, Anastasiya P. Korzhikova, Alexandr N. Korkishko

An experimental study of a forced ventilation pile. 665

CONSTRUCTION MATERIAL ENGINEERING

Dmitry A. Nemuschenko, Vladimir V. Larichkin, Anastasiya P. Onipchenko, Vasilij S. Subbotin

A research into the distribution of silicium dioxide nanoparticles in the mixing water 678

SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN ECONOMY

Aleksei G. Pervov, Konstantin V. Tikhonov

**A new technique to purify biologically treated wastewater by reverse osmosis:
utilization of concentrate. 688**

HYDRAULICS. GEOTECHNIQUE. HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION

Valentin A. Politko, Sergey V. Solomatin, Anastasia I. Karakozova, Pavel A. Truskov

Ice loads on hydraulic engineering structures: enhancement of analysis methods 701

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

Elena A. Korol', Anastasia A. Zhuravleva

**On estimating the amount of fuel and energy consumable
in the process of mechanized work performance within the framework of low-rise construction 712**

Elena V. Gorbenkova

Features of rural settlement transformation in Belarus 729

SHORT MESSAGES. DISCUSSIONS AND REVIEWS. INFORMATION

E.A. Korchagin

How troops were supplied with water during the Great Patriotic war 746

Requirements for research paper design 753

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).

Военные страницы отечественной гидротехники

Май 2020 года. Мы живем в мирное время, пусть не такое спокойное, как даже год назад, но все-таки более безопасное, чем 1940-е годы, когда жили наши отцы, деды и прадеды. Именно они, зачастую ценою своих жизней, сделали этот мир таким. Главное достижение наших предков — это победа в Великой Отечественной войне в мае 1945 года. Они — поколение победителей! 2020-й — год 75-летия Великой Победы!

Три четверти века разделяют наши поколения. Победители выросли в годы первых пятилеток, за ними остались трудовые подвиги индустриализации и коллективизации, им покорялись Магнитка, ДнепроГЭС и Беломорканал. Именно победители накануне военных лет реализовали грандиозный Государственный план электрификации Советской России (план ГОЭЛРО) — первый перспективный план развития, полностью реализованный в нашей стране. Принятию этого документа в 2020 г. исполняется 100 лет. ГОЭЛРО был планом развития не одной энергетики, а всей экономики государства. Он предусматривал строительство предприятий самых разных отраслей (металлургии, добычи нефти и угля, водоснабжения, транспорта, сельского хозяйства и др.), но при условии опережающего развития электроэнергетики, в том числе гидроэнергетики.

По плану ГОЭЛРО построены не только известные на всю страну Волховская, Горьковская, Днепровская и две Свирские ГЭС, а чуть позже, в развитии этого плана — Ивановская, Угличская и Рыбинская ГЭС, гидротехнические сооружения канала имени Москвы, но и небольшие по своей мощности московские гидроэлектростанции: Рублевская, Сходненская, Карамышевская и Перервинская. Последние три из перечисленных ГЭС, пережив Великую Отечественную войну, по-прежнему несут свет в московские микрорайоны. Все гидротехнические сооружения канала имени Москвы, Вазузской гидротехнической и Москворецкой водной систем и сегодня дают воду московской агломерации. Значительная часть гидротехнических и гидроэнергетических сооружений, построенных в предвоенные десятилетия, были запроективаны и возведены при активном участии

преподавателей, научных сотрудников и выпускников инженерно-технических вузов Москвы и в первую очередь МИСИ имени В.В. Куйбышева.

Современное общество увлечено сегодня другими темами — информатизацией и цифровизацией, реализует масштабные и грандиозные по своим задумкам национальные проекты, порой не обращая внимание на объекты народного хозяйства, построенные более семи-восемью десятилетий назад. Именно поэтому у нас в МИСИ – МГСУ на кафедре гидравлики и гидротехнического строительства появилась инициатива рассказать о том, кто, как и зачем проектировал и строил гидротехнические сооружения по плану ГОЭЛРО, как они помогли нашей стране и столице нашей Родины — Москве 75 лет назад пережить самую страшную войну в истории многих поколений людей. Поэтому первая статья доцента Е.А. Корчагина о преподавателях кафедры гидротехнического строительства МИСИ в Великой Отечественной войне, опубликованная в № 3 «Вестника МГСУ», открыла хрестоматийную рубрику журнала о военном периоде в нашей истории. Далее мы хотим, чтобы вышли из «тени» темы, связанные с ролью гидроэнергетики и гидротехники в предвоенные годы и в период Великой Отечественной войны 1941–1945 гг.; значением фортификационных гидротехнических сооружений в годы войны (статья опубликована в № 5 журнала «Гидротехническое строительство»); с организацией водоснабжения в войсковых операциях и деятельности гидротехнических рот в Великую Отечественную войну. Беря пример с национальной компании «Рус-Гидро», реализующей на одном из телеканалов и интернет-сайте проект «Как воевали плотины», в ближайших номерах «Вестника МГСУ» мы обязательно расскажем о московских гидроэлектростанциях и гидроузлах на Верхней Волге (Ивановском, Угличском и Рыбинском), которые сыграли важнейшую роль в устойчивом и бесперебойном энергообеспечении Москвы в годы Великой Отечественной войны, и сегодня по-прежнему находятся в строю стратегически важных объектов, играющих свою незаметную роль в энерго- и водоснабжении столичного региона.

*Д.В. Козлов,
заведующий кафедрой гидравлики и гидротехнического строительства
НИУ МГСУ, профессор, доктор технических наук*

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ.

УДК 711.4; 719

DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.632-640

Градостроительное восстановление исторических центров сирийских городов, разрушенных войной

Е.В. Щербина, А.А. Белал, А. Салмо

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Градостроительное развитие исторических центров городов, разрушенных в результате техногенных катастроф, неразрывно связано с поиском баланса между сохранением культурной среды и созданием новой среды жизнедеятельности, отвечающей требованиям современности. Эти вопросы находят эффективное решение в отношении археологических ансамблей и памятников истории, архитектуры, занесенных в список охраны объектов всемирного наследия, которые реставрируются благодаря усилиям мирового сообщества. Особенно остро данная проблема ощущается в исторических городах Сирии, пострадавших в ходе военных действий в начале нынешнего века.

Материалы и методы. На основе системного подхода представлена историко-генетическая модель и определены границы территории, обладающей признаками исторического места. Обработка данных аэрофотосъемки, натурного обследования и фотофиксации позволили определить степень повреждений зданий и сооружений, находящихся в границах территорий исторического центра, выделенных на основе градостроительного зонирования.

Результаты. Получены оценки уровней разрушения районов г. Хомс. Предложено понятие и типология объекта культурного наследия (ОКН) «достопримечательное место» применительно к условиям Сирийской Арабской Республики. Приведена методика исследования территорий, разрушенных войной, для определения направлений восстановления. Обосновано проведение регенерации городской среды района Бани Сибба с реставрацией ОКН, восстановлением исторического облика, достопримечательного места, как особого вида объекта культурного наследия — исторический центр г. Хомс, сохранивший фрагменты градостроительной планировки и застройки.

Выводы. Определение степени повреждения зданий, сооружений и объектов историко-культурного наследия, выполненное на основе качественных показателей, позволяет оценить состояние культурной среды, ресурсов и ценностей территории исторического центра, а также служит основой градостроительного зонирования и определения границ территории исторического места. Сформулированный подход создает предпосылки и инструментарий для разработки стратегий реконструкции пострадавших в результате войны территорий и программ развития города, что позволит запустить культурные процессы, позитивно влияющие на городскую и региональную экономику: создание рабочих мест, развитие туризма, возрождение национальных ремесел. Полученные результаты служат основой для концептуального проектирования разномасштабных мероприятий культурной политики развития территории.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: объекты культурного и исторического наследия, устойчивое развитие, городская идентичность, реконструкция, реставрация, восстановление, последствия военных действий, градостроительное проектирование

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Щербина Е.В., Белал А.А., Салмо А. Градостроительное восстановление исторических центров сирийских городов, разрушенных войной // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 5. С. 632–640. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.632-640

Historic centres of Syrian towns ruined by the war: restoration through urban planning

Elena V. Shcherbina, Ali A. Belal, Ali Salmo

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

ABSTRACT

Introduction. Urban development of historic centres of towns, destroyed by man-induced disasters, means finding the balance between the preservation of the cultural environment and development of a new medium capable of meeting present-day challenges. These problems can be effectively tackled in respect of architectural ensembles, monuments of history and architecture having the status of world heritage sites, as they are restored through the efforts of the world community. This problem is particularly acute in the historic cities of Syria that suffered from warlike operations at the outset of the 21st century.

Materials and methods. The system approach was employed by the co-authors to develop and present a historic and genetic model and to set the borders of territories that can be qualified as historic landmarks. Processed aerial imagery and on-site examination of buildings have enabled the co-authors to assess the extent of destruction of buildings and structures, located within the borders of urban historic centres, identified by means of urban zoning techniques.

Results. The co-authors have ranked the buildings and structures in the districts of Homs, Syria, using the extent of destruction as a criterion. They also propose a definition for the notion of cultural heritage sites (“CHS”), as well as the

typology of CHS or “landmarks” in the Syrian Arab Republic. The co-authors offer a methodology for the examination of localities, destroyed during the war, needed to develop their restoration roadmaps. They have also substantiated the need to regenerate the urban environment in the Bani Sibhaa community, to restore the historic centre of Homs to its initial appearance due to its status of a special cultural heritage site, as it has fragments of historic urban planning and ancient buildings.

Conclusions. The damage assessment of buildings, structures, and items of historic and cultural heritage, performed using qualitative values, helps to assess the condition of the cultural environment, resources and valuables available in the historic centre; it also serves as the basis for urban zoning and setting boundaries of historical sites. The approach, developed by the co-authors, encompasses prerequisites and a set of instruments to be used to develop reconstruction strategies for the areas previously exposed to military operations, as well as urban development programmes, that will boost cultural processes capable of producing positive impact on urban and regional economies through job generation, travel industry development, and revival of folk crafts. The findings will be contributed to the conceptual design of multiscale cultural policy events that can boost the development of local areas.

KEYWORDS: items of cultural and historic heritage, sustainable development, urban identity, reconstruction, restoration, recovery, consequences of military actions, urban design

FOR CITATION: Shcherbina E.V., Belal A.A., Salmo A. Historic centres of Syrian towns ruined by the war: restoration through urban planning. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(5):632-640. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.632-640 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Восстановление и градостроительное развитие исторических центров городов, получивших разрушения в результате техногенных катастроф, неразрывно связано с поиском баланса между сохранением культурной среды и созданием новой среды жизнедеятельности, отвечающей требованиям современности [1–3]. Следует отметить, что эти вопросы находят эффективное решение в отношении археологических ансамблей и памятников истории, архитектуры, занесенных в список охраны объектов всемирного наследия, которые реставрируются благодаря усилиям и финансовой поддержке мирового сообщества [4, 5]. Сохранение исторических центров городов в процессе их преобразования не менее значимо для формирования пространственных каркасов культурного потенциала, архитектурного и градостроительного наследия, определяющих городскую идентичность [6, 7]. А.Л. Гольфонд отмечает, что «Одной из самых существенных утрат для исторического поселения является потеря целостности архитектурно-градостроительного наследия и историко-архитектурной среды в целом, что выводит на передний план необходимость выработки приемов ее оценки и воссоздания» [8]. Г.В. Есаулов определяет городскую идентичность как территорию, имеющую своеобразную архитектуру и планировку, исторические здания и сооружения, местное население с характерным бытом и укладом жизни, природой и городским ландшафтом [9]. Растущий спрос на городскую идентичность, по мнению Т. Майкла и С. Рейчела, указывает на необходимость научного представления новых видов культурных ресурсов в их связи с историческими городскими ландшафтами [10]. В этом аспекте значительный интерес представляют исследования Э.А. Шевченко и А.В. Лукашова, в которых подчеркивается важность такого объекта культурного наследия, как «достопримечательное место», и уста-

новления его типа, что позволит сформулировать требования к градостроительным регламентам, переводя решение проблемы сохранения объектов культурного наследия (ОКН) в практическую плоскость [11, 12].

Обобщение мирового опыта восстановления территорий городов, пострадавших в ходе военных действий, показывает возможность реализации трех направлений градостроительной реконструкции. Первое направление — характерно для сильно разрушенных территорий городов, когда восстановление и сохранение исторического облика было экономически не оправдано и невозможно. К таким примерам относятся г. Волгоград (Сталинград) (разрушено около 90 % жилого фонда), г. Минск (разрушено 89 % зданий). В этом случае восстановление городов осуществлялось на основе новых градостроительных планов развития. Второе направление — частичное восстановление исторических территорий и новое градостроительное развитие существенно разрушенных, например, г. Дрезден. Третье направление — восстановление городских территорий при незначительных повреждениях [13, 14].

Особого внимания заслуживает опыт восстановления Великого Новгорода, при освобождении которого 20 января 1944 г. в нем практически не осталось жителей и сохранилось приблизительно сорок строений, имевших фундамент и стены. Учитывая высокую историческую, культурную и политическую значимость города, уже 1 ноября 1945 г. он вошел в число 15 городов СССР, подлежащих первоочередному восстановлению. Восстановление осуществлялось по генеральному плану, разработанному под руководством архитектора академика А.В. Щусева, который предусматривал создание города-музея. В генеральном плане была сохранена планировочная структура, утвержденная Екатериной II, установлено высотное ограничение в центральной части города — не более трех этажей, и одного-двух этажей в периферийной ча-

сти. Даже численность населения города по плану А.В. Щусева не должна была превышать 50 тысяч человек, что соответствовало количеству жителей в начале XVI в. [15, 16]. Благодаря этому сегодня Великий Новгород сохранил свой исторический и культурный потенциал и входит в число исторических городов России.

Таким образом, при решении вопросов по восстановлению городов, разрушенных в результате военных действий, необходим индивидуальный подход, учитывающий историческую ценность застройки, социально-экономические факторы и техническое состояние зданий. Поиск решения может быть найден на основе комплексного анализа состояния культурной среды, исследований ресурсов и ценностей территории, оценки степени разрушения зданий, сооружений и объектов культурного наследия, что необходимо для разработки плана восстановления территории и последующего градостроительного зонирования. Оценка исторического потенциала территории может быть выполнена по количеству и значимости ОКН, образующих историко-культурный каркас. Для оценки ущерба ОКН возможно использовать так называемый «Индекс HD», учитывающий историко-культурную значимость объекта и степень его разрушения по предложенной шкале [17]. Такой подход применяется для оценки возможности восстановления каждого отдельного объекта.

В настоящее время эта проблема особенно ощутима в исторических городах Сирии, пострадавших в ходе военных действий начала нынешнего столетия, где, наряду с гуманитарными вопросами, необходимо принимать решения по сохранению

историко-культурных ценностей. На диаграмме (рис. 1) приведено количество зданий и сооружений (по вертикальной шкале) разрушенных городов Сирии, из которого следует, что наибольший ущерб нанесен г. Алеппо. В г. Хомс число разрушенных домов на 2014 г. составляло 13 778 единиц.

Эти данные показывают, что исторические города Сирии получили масштабные разрушения, которые имеют негативные гуманитарные последствия, в том числе приводят к утрате исторических и архитектурных ценностей, снижению культурного потенциала.

Цель исследования — разработка методики градостроительного восстановления исторических центров городов, разрушенных в ходе военных конфликтов, обеспечивающей сохранение историко-культурного потенциала, для достижения которой были решены следующие задачи:

- определены границы территории исторического центра города;
- обоснована целесообразность введения понятия ОКН «историческое место» и предложена типология исторических мест, применительно к условиям Сирии;
- обоснован метод оценки степени разрушений пострадавших в ходе войны исторических территорий;
- определены направления восстановления территорий, позволяющие сохранить исторические, культурные и архитектурные ценности.

Исторические закономерности развития страны обуславливают формирование пространственно-планировочной структуры городов, которая претерпевает изменения на всех исторических этапах,

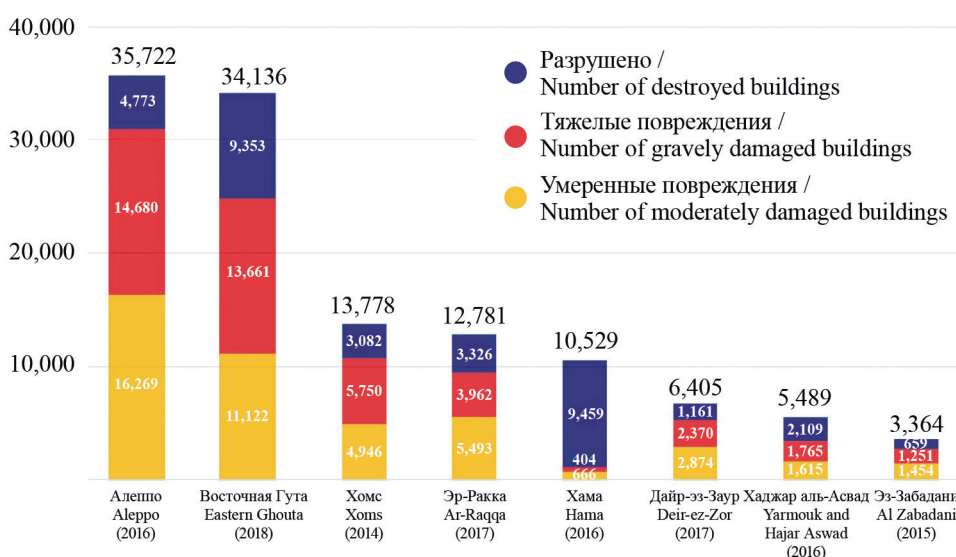


Рис. 1. Диаграмма разрушений сирийских городов¹

Fig. 1. The chart describing the destruction of buildings and structures in the Syrian cities¹

¹ Syrian Cities Damage Atlas — Eight Year Anniversary of the Syrian Civil War: Thematic assessment of satellite identified damage 16 Mar 2019. URL: <https://reliefweb.int/report/syrian-arab-republic/syrian-cities-damage-atlas-eight-year-anniversary-syrian-civil-war>

и в результате становится частью национальной культуры. Определение границ территории г. Хомс, обладающей признаками достопримечательного места, выполнено с использованием историко-генетического анализа на основе архивных и исторических материалов и системного обобщения результатов [2, 18–20]. Объект исследования — исторический центр г. Хомс. В настоящее время г. Хомс относится к крупнейшим городам Сирийской Арабской Республики (САР), это — региональный центр западной провинции, обладающий значительным производственным потенциалом. Первые упоминания о городе относятся к 2300 г. до н.э., сегодня г. Хомс входит в число мировых исторических центров. Выполненный историко-генетический анализ позволил выявить характерные черты образования и развития, общие для арабских городов, что позволяет рассматривать его как аналоговый объект, а полученные результаты применимы в исследованиях других подобных городов Сирии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование разрушений территории может быть выполнено различными методами, например методом аэрофотосъемки. Он использовался учебным и научно-исследовательским институтом ООН (ЮНИТАР–ЮНОСАТ) для оценки повреждений в г. Хомс². Тепловая карта создает поверхность для визуализации плотности повреждений с более темными областями, показывающими большую концентрацию разрушенных и сильно поврежденных

² Old City of Homs. UN-Habitat Syria Office. Neighbourhood Profile. 2014. Pp. 1–18. URL: <https://unhabitat.org/neighbourhood-profile-old-city-of-homs/>

элементов. Относительная плотность поврежденных устанавливалась на основе показателя, характеризующего отношение количества точек повреждения к единице площади района (единиц/гектар), что позволяет сопоставить ущерб разрушений между отдельными районами (рис. 2).

Однако этот метод позволяет получить только укрупненные оценки. Как следует из приведенной информации, наибольшие разрушения фиксируются в центральной части города — в историческом центре района Баб-Худ повреждено или разрушено 20 зданий/га.

Приведенные сведения показывают, что наибольшие разрушения получил исторический центр города, в котором сосредоточены основные археологические, исторические, архитектурные и культурные ценности, определяющие городскую идентичность г. Хомс. Для детализации оценки состояния зданий и сооружений в границах исторического центра города нами использовались качественные характеристики степеней повреждения составных элементов зданий и сооружений, рекомендованные ГОСТ Р 42.2.01-2014³, полученные по данным визуального обследования. Обработка данных осуществлялась с использованием метода картографирования и построения картограмм, отражающих состояние разрушения застройки и объектов культурного наследия в границах исторического центра г. Хомс [21]. Применялся визуальный метод

³ ГОСТ Р 42.2.01-2014. Гражданская оборона. Оценка состояния потенциально опасных объектов, объектов обороны и безопасности в условиях воздействия поражающих факторов обычных средств поражения. Методы расчета. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200112653>

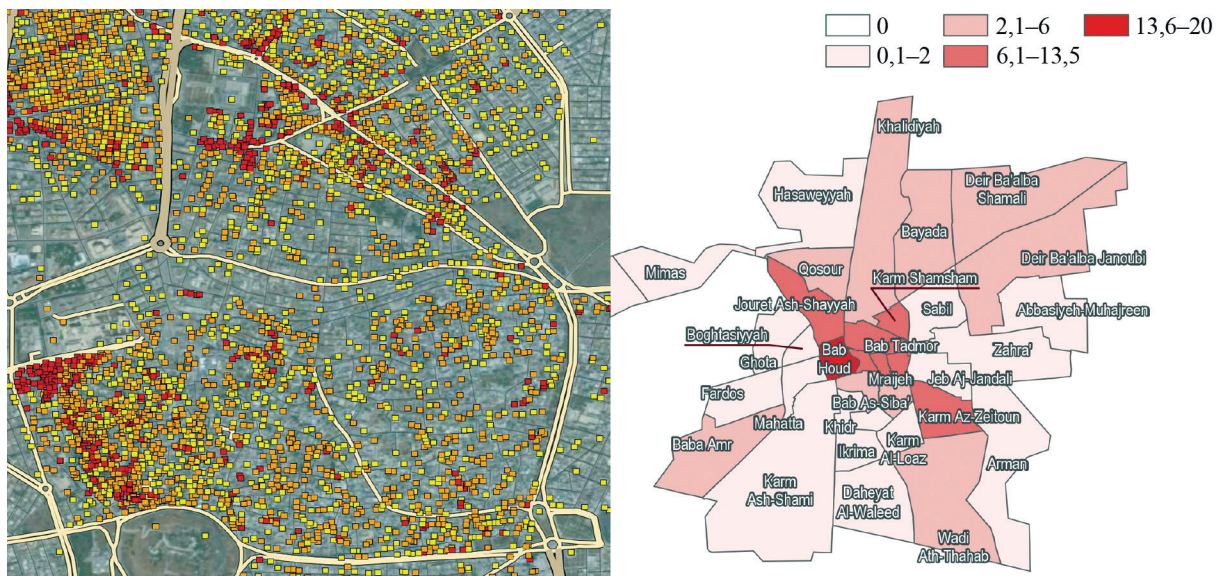


Рис. 2. Данные по разрушениям: слева — разрушенные здания; справа — относительная плотность разрушений территории г. Хомс (зданий/га)²

Fig. 2. Consolidated data on destructions: destroyed buildings are on the left; the relative density of destructions in Homs (buildings/sq. hectare) is on the right²

оценки, основанный на выявлении повреждений составных частей здания с помощью простейших приспособлений (уровень, отвес, фотофиксация и др.), позволяющий установить степень разрушения по четырехуровневой шкале:

1. Слабое разрушение характеризуется наличием повреждений декора фасадов, незначительного разрушения кровли, внутренних перегородок, дверных и оконных коробок, легких пристроек. Основные несущие конструкции сохранены.

2. Средняя степень разрушения характеризуется снижением эксплуатационной пригодности здания и сооружения. Несущие конструкции сохранены, отмечаются частичные деформации, возможно снижение несущей способности, опасность разрушения отсутствует.

3. Сильная степень разрушения — сплошное разрушение несущих конструкций зданий и сооружений, при этом могут сохраняться наиболее прочные элементы каркаса здания и сооружения, ядра жесткости, частично стены и перекрытия нижних этажей. При сильном разрушении может образовываться завал.

4. Полное разрушение — обрушение здания, при этом могут сохраниться поврежденные или не поврежденные подвалы, а также незначительная часть прочных элементов. В этом случае образуется завал.

Эта шкала более соответствует поставленной цели исследования, объектом которого является историческая часть города, в которой сконцентрированы объекты культурного наследия, поэтому она была принята в работе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выполненные исследования основывались на предложенной авторами методике, включавшей выполнение следующих этапов:

1. Определение границ территории, обладающей признаками исторического места.
2. Градостроительное зонирование территории с учетом сложившихся форм функционального использования и административного деления.
3. Определение степени разрушений зданий, сооружений и объектов культурного наследия, полученных в ходе военных действий.
4. Оценка уровня разрушения территорий.
5. Определение территорий, которые могут быть отнесены к ОКН в виде достопримечательного места с учетом полученных повреждений.

При определении исторического потенциала разрушенных территорий города целесообразно оперировать понятием ОКН «достопримечательное место», как особый вид культурного наследия. Достопримечательное место, согласно принятому в РФ законодательству, определяется как объект культурного наследия — «творения, созданные человеком, или совместные творения человека и

природы», подлежащие охране⁴. Следует отметить, что в законодательстве САР об ОКН такое понятие в настоящее время отсутствует. Анализ культурных, исторических и национальных особенностей САР позволяет предложить следующую типологию ОКН «достопримечательное место»:

- места традиционного бытования народных художественных промыслов, городские базары;
- центры исторических поселений или фрагменты градостроительной планировки и застройки;
- памятные места, культурные и природные ландшафты, связанные с историей формирования народов на территории САР, историческими (в том числе военными) событиями;
- памятные места, связанные с жизнью выдающихся исторических личностей;
- объекты археологического наследия;
- места совершения религиозных обрядов;
- религиозно-исторические места.

Выполненные ранее исследования позволили определить территорию г. Хомс, обладающую признаками исторического места, площадь которой составляет около 120 га. На этой территории сосредоточены исторические и культурные ценности города, отражающие его идентичность и представляющие значительный потенциал для развития и концептуального проектирования разномасштабных мероприятий культурной политики развития территории. Для дальнейшего анализа в границах исторического центра выполнено градостроительное зонирование, в результате которого выделено 7 территориальных зон (рис. 3).

На основании принятых оценок для исторической части г. Хомс построены картограммы районов Бани Сибаа и Баб Тадмур, характеризующие последствия военных действий (рис. 4). Там же приведены примеры обнаруженных разрушений и условные обозначения, принятые на картограммах.

Анализ полученных данных показывает, что в районах Бани Сибаа (2) и Баб Тадмур (3) разрушено приблизительно 80 % территории. В районе Бани Сибаа сильное и полное разрушение получило 44 %, среднее — 3,5 % и слабое — 28,9 %; в районе Баб Тадмур полное и сильное разрушение отмечены на 36 %, среднее — 17,8 %, слабое — 26,8 %. При приблизительно равном проценте разрушений более пострадавшим можно считать район Баб Тадмур. Полученные результаты позволяют наметить направления реконструкции по каждому району, учитывая современное состояние территории.

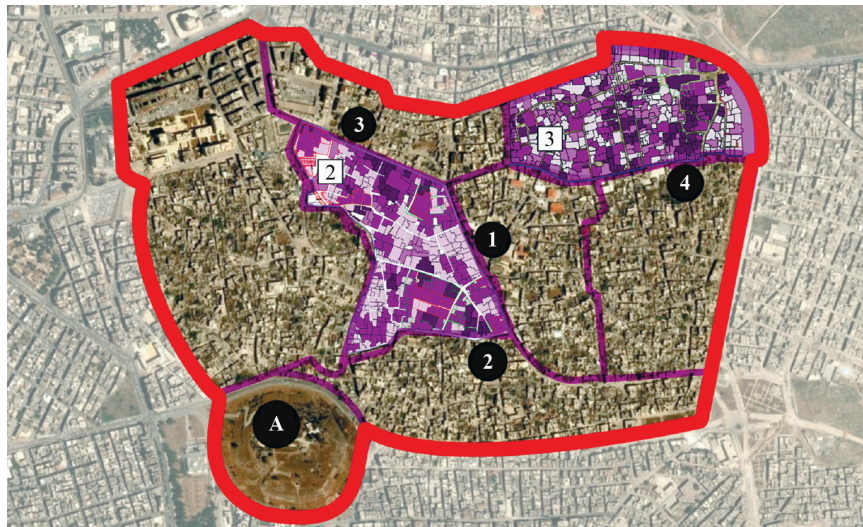
Историческая территория Цитадели пострадала незначительно. В соответствии с предложенной типологией ОКН «достопримечательное место», она относится к памятному месту, связанному

⁴ Методические рекомендации по отнесению историко-культурных территорий к объектам культурного наследия в виде достопримечательного места. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456048835>

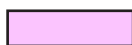


Рис. 3. Градостроительное зонирование территории исторического центра г. Хомс (рисунок А.А. Белал): А — историческое место Цитадель; 1 — Баб Хоуд; 2 — Бани Сибаа; 3 — Баб Тадмур; 4 — Баб Ал-Сибаа; 5 — Жамал Дейн; 6 — Ал-Хамидий; 7 — Баб Ал-Дреб

Fig. 3. Urban zoning of the historic centre of Homs (by Ali A. Belal): A — the Citadel, a historic landmark; 1 — Bab Houd; 2 — Bani Sibhaa; 3 — Bab Tadmor; 4 — Bab Al-Sabaa; 5 — Jamal Dein; 6 — Al-Hamidiyah; 7 — Bab Al-Dreb



1 — Слабое разрушение / Light damage



2 — Средняя степень разрушения / Moderate damage



3 — Сильная степень разрушения / Grave damage



4 — Полное разрушение / Complete destruction



Рис. 4. Картограмма разрушений территорий районов Бани Сибаа и Баб Тадмур с примерами поврежденных домов различной степени разрушения (рисунок А. Салмо)

Fig. 4. Chart of exposure to destructions in Bani Sibhaa and Bab Tadmor, including buildings exposed to different extents of damage (by Ali Salmo)

с историей формирования народов на территории Сирии, историческими событиями, относится к объектам археологического наследия. Территория Цитадели занимает особое место в структуре города и подлежит строгой охране. В районе Бани Сибиа целесообразно восстановление историко-градостроительной среды с реставрацией ОКН, воссозданием исторического облика, достопримечательного места, как особого вида культурного наследия — исторический центр г. Хоме, сохранивший фрагменты градостроительной планировки и застройки. Регенерация историко-градостроительной среды предусматривает восстановление целостности композиционной структуры на территории достопримечательного места, преемственное развитие традиционных градостроительных характеристик среды (улично-дорожной сети, исторической застройки, фронта улиц, благоустройства и др.). Допускается компенсационное и адаптивное строительство взамен утраченных элементов застройки или рядовых элементов композиции, не имеющих самостоятельной архитектурно-художественной ценности, поврежденных в результате военных действий. Реализация этих мероприятий возможна средствами градостроительного регулирования на основе специальных градостроительных регламентов, предусматривающих соблюдение сложившихся типологических, масштабных, стилевых характеристик историко-градостроительной среды, которые должны быть отражены в проекте.

В районе Баб Тадмур необходимо провести дополнительные исследования с детализацией повреждений ОКН и установления соответствующих охранных зон.

ВЫВОДЫ

Показана целесообразность использования предложенной методики для определения направ-

лений реконструкции территорий исторических центров городов, получивших разрушения в результате военных действий. При оценке повреждений на первом этапе обследования может быть использован метод качественной оценки степени повреждения с градацией: слабое, среднее, сильное, полное, что позволит определить направления реконструкции при регенерации территории.

Сформулированный подход создает предпосылки и инструментарий для разработки стратегий градостроительного восстановления пострадавших в результате войны территорий и программ развития города, что позволит запустить культурные процессы, позитивно влияющие на городскую и региональную экономику: создание рабочих мест, развитие туризма, возрождение национальных ремесел. Полученные результаты служат основой для концептуального проектирования разномасштабных мероприятий культурной политики развития территории.

Для оценки ресурсов и ценности территорий предложено понятие ОКН «достопримечательное место». Выполненные исследования позволили определить следующие типы достопримечательных мест: территория Цитадели относится к памятному месту, связанному с историей формирования народов на территории Сирии, историческими событиями, объектами археологического наследия; район Бани Сибиа — к территориям исторических центров городов, сохранивших фрагменты градостроительной планировки и застройки. При восстановлении этих территорий следует использовать регенерацию исторической среды, учитывая, что полное разрушение получило 8,7 % территории.

Район Баб Тадмур получил значительные повреждения, полностью и сильно разрушено 44 % территории, регенерация этой территории связана со значительными затратами и нецелесообразна. На данной территории следует выделить ОКН и установить зоны их охраны, что должно быть учтено при разработке проекта планировки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bertolin C. Preservation of cultural heritage and resources threatened by climate change // *Geosciences*. 2019. Vol. 9. Issue 6. P. 250. DOI: 10.3390/geosciences9060250
2. Щербина Е.В., Белал А.А. Значение объектов исторического и культурного наследия при реконструкции и восстановлении городов // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. № 4 (127). С. 417–426. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.4.417-426
3. Теличенко В.И., Щербина Е.В. Социально-природно-техногенная система устойчивой среды жизнедеятельности // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 6. С. 5–12. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.5-12
4. Zerbini A. Developing a heritage database for the Middle East and North Africa // *Journal of Field Archaeology*. 2018. Vol. 43. Issue sup 1. Pp. S9–S18. DOI: 10.1080/00934690.2018.1514722
5. Cunliffe E., Muhesen N., Lostal M. The destruction of cultural property in the Syrian conflict: legal implications and obligations // *International Journal of Cultural Property*. 2016. Vol. 23. Issue 1. Pp. 1–31. DOI: 10.1017/s0940739116000011
6. Гельфонд А.Л. Концепция формирования потенциальных пространственных каркасов исторических поселений // *Academia. Архитектура и строительство*. 2019. № 1. С. 26–34. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-1-26-34
7. Лежава И.Г. Преобразование города // *Academia. Архитектура и строительство*. 2016. № 4. С. 95–102.

8. *Есаулов Г.В.* Об идентичности в архитектуре и градостроительстве // *Academia. Архитектура и строительство*. 2018. № 4. С. 12–18. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-4-12-18
9. *Turner M., Singer R.* Researching and mapping the historic urban landscape // *Reconnecting the City*. 2014. Pp. 301–315. DOI: 10.1002/9781118383940.ch13
10. *Шевченко Э.А., Лукашев А.В.* О том, что фактически должно лежать в основе установления границ объектов культурного наследия в виде Достопримечательных мест. Часть 1 // *Academia. Архитектура и строительство*. 2019. № 1. С. 62–69. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-1-62-69
11. *Шевченко Э.А., Лукашев А.В.* О том, что фактически должно лежать в основе установления границ объектов культурного наследия в виде Достопримечательных мест. Часть 2 // *Academia. Архитектура и строительство*. 2019. № 2. С. 73–82. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-2-73-82
12. *Потапова А.В.* Методы регенерации исторических кварталов в современной европейской практике на примере района Нойштадт (Дрезден, Германия) // *Архитектура и современные информационные технологии*. 2012. № 2 (19). URL: <http://www.marhi.ru/eng/AMIT/2012/2kvart12/potapova/abstract.php>
13. *Marek K.* Rekonstruktion und Kulturgesellschaft. Stadtbildreparatur in Dresden, Frankfurt am Main und Berlin als Ausdruck der zeitgenössischen Suche nach Identität: Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Philosophie. Kassel, 2009.
14. *Шерешевский А.Л.* Подходы к реконструкции градостроительной среды на примере послевоенных восстановлений исторических городов // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2015. Т. 17. № 1 (3). С. 511–516. URL: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015_1_511_516.pdf
15. *Косенкова Ю.Л., Волчок Ю.П.* Хроника архитектурно-градостроительного процесса в СССР послевоенного периода (1945–1955). URL: http://www.niitiag.ru/pub/pub_cat/khronika_arkhitekturno_gradostroitelnoego_protssessa_v_sssr_poslevoennogo_perioda
16. *Мильчик М.И.* Тихвин. Очерк градостроительной истории. Графические реконструкции и документы. СПб.: Сохранение природного и культурного наследия, 2015. 358 с.
17. *Isakhan B.* Creating the Iraq cultural property destruction database: calculating a heritage destruction index // *International Journal of Heritage Studies*. 2015. Vol. 21. Issue 1. Pp. 1–21. DOI: 10.1080/13527258.2013.868818
18. *Кубецкая Л.И., Кудрявцева Н.О.* Историко-генетические закономерности зарождения и развития градостроительных систем как неотъемлемой части национальной культуры // *Academia. Архитектура и строительство*. 2017. № 3. С. 76–83.
19. *Кубецкая Л.И., Кудрявцева Н.О.* Историко-генетические модели поселения и ценностное зонирование территорий // *Градостроительство*. 2017. № 3 (49). С. 9–23.
20. *Kiet A.* Arab Culture and Urban Form // *Focus*. 2011. Vol. 8. Issue 1. DOI: 10.15368/focus.2011v8n1.4
21. *Belal A., Shcherbina E.* Smart-technology in city planning of post-war cities // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 365. P. 022043. DOI: 10.1088/1757-899X/365/2/022043

Поступила в редакцию 6 декабря 2019 г.

Принята в доработанном виде 30 марта 2020 г.

Одобрена для публикации 28 апреля 2020 г.

ОБ АВТОРАХ: **Елена Витальевна Щербина** — доктор технических наук, профессор; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 485908, Scopus: 57079098300, ResearcherID: Q-6673-2016, ORCID: 0000-0002-8595-2101; scherbinaEV@mgsu.ru;

Али Анис Белал — магистр архитектуры, аспирант кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 979101, Scopus: 57202812911, ResearcherID: L-2747-2019, ORCID: 0000-0002-3927-4741; grado@mgsu.ru;

Али Салмо — бакалавр архитектуры; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ResearcherID: AAG-1758-2019, ORCID: 0000-0002-6797-7559; grado@mgsu.ru.

REFERENCES

1. Bertolin C. Preservation of cultural heritage and resources threatened by climate change. *Geosciences*. 2019; 9(6):250. DOI: 10.3390/geosciences9060250
2. Shcherbina E.V., Belal A.A. The value of historical and cultural heritage in the reconstruction and restoration of cities. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14:4(127):417-426. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.4.417-426 (rus.).
3. Telichenko V.I., Shcherbina E.V. Social-natural-technogenic system of sustainable environment of vital activity. *Industrial and Civil Engineering*. 2019; 6:5-12. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.5-12 (rus.).

4. Zerbini A. Developing a heritage database for the Middle East and North Africa. *Journal of Field Archaeology*. 2018; 43(sup1):S9-S18. DOI: 10.1080/00934690.2018.1514722
5. Cunliffe E., Muhesen N., Lostal M. The destruction of cultural property in the Syrian Conflict: legal implications and obligations. *International Journal of Cultural Property*. 2016; 23(1):1-31. DOI: 10.1017/s0940739116000011
6. Gelfond A.L. The concept of potential spatial frameworks of historical settlements. *Academia. Architecture and Construction*. 2019; 1:26-34. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-1-26-34 (rus.).
7. Lezhava I.G. The transformation of the city. *Academia. Architecture and Construction*. 2016; 4:95-102. (rus.).
8. Esaulov G.V. On identity in architecture and urban planning. *Academia. Architecture and Construction*. 2018; 4:12-18. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-4-12-18 (rus.).
9. Turner M., Singer R. Researching and mapping the historic urban landscape. *Reconnecting the City*. 2014; 301-315. DOI: 10.1002/9781118383940.ch13
10. Shevchenko E.A., Lukashov A.V. On the actual basis for establishing the boundaries of cultural heritage in the form of places of interest. Part 1. *Academia. Architecture and Construction*. 2019; 1:62-70. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-1-62-70 (rus.).
11. Shevchenko E.A., Lukashov A.V. On the actual basis for establishing the boundaries of cultural heritage in the form of places of interest. Part 2. *Academia. Architecture and Construction*. 2019; 2:73-82. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-2-73-82 (rus.).
12. Potapova A.V. Methods of regeneration historical quarters in the contemporary European practise by example of the Neustadt district (Germany). *Architecture and modern information technologies international electronic*. 2012; 2(19). URL: <http://www.marhi.ru/eng/AMIT/2012/2kvart12/potapova/abstract.php> (rus.).
13. Marek K. *Rekonstruktion und Kulturgesellschaft. Stadtbildreparatur in Dresden, Frankfurt am Main und Berlin als Ausdruck der zeitgenössischen Suche nach Identität* : Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Philosophie. Kassel, 2009.
14. Shereshevsky A.L. Approach to urban environment reconstruction based on the samples of post-war rehabilitation of historic cities. *Proceedings of the Samara scientific center RAN*. 2015; 17(1):3:511-516. URL: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015_1_511_516.pdf (rus.).
15. Kosenkova Y.L., Volshok Y.P. *Chronicle of the architectural and urban development process in the USSR postwar period (1945-1955)*. URL: http://www.niitiag.ru/pub/pub_cat/khronika_arkhitekturno_gradostroitel'nogo_protsessa_v_ssr_poslevoennogo_perioda (rus.).
16. Milchik M.I. *Tikhvin. Essay on urban history. Graphic reconstructions and documents*. St. Petersburg, Preservation of natural and cultural heritage, 2015; 152. (rus.).
17. Isakhan B. Creating the Iraq cultural property destruction database: calculating a heritage destruction index. *International Journal of Heritage Studies*. 2015; 21(1):1-21. DOI: 10.1080/13527258.2013.868818
18. Kubetskaya L.I., Kudryavtseva N.O. Historical genetic regularities of origin and development of town-planning systems as integral part of national culture. *Academia. Architecture and Construction*. 2017; 3:76-83. (rus.).
19. Kubetskaya L.I., Kudryavtseva N.O. Historical and genetic model of settlement and value zoning. *Urban Planning*. 2017; 3(49):9-23. (rus.).
20. Kiet A. Arab culture and urban form. *Focus*. 2011; 8(1). DOI: 10.15368/focus.2011v8n1.4
21. Belal A., Shcherbina E. Smart-technology in city planning of post-war cities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 365:022043. DOI: 10.1088/1757-899X/365/2/022043

Received December 6, 2019.

Adopted in a revised form on March 30, 2020.

Approved for publication April 28, 2020.

BIONOTES: **Elena V. Shcherbina** — Doctor of Technical Sciences, Professor; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 485908, Scopus: 57079098300, ResearcherID: Q-6673-2016, ORCID: 0000-0002-8595-2101; shcherbinaEV@mgsu.ru;

Ali A. Belal — master of architecture, postgraduate student of the Department of urban planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 979101, Scopus: 57202812911, ResearcherID: L-2747-2019, ORCID: 0000-0002-3927-4741; grado@mgsu.ru;

Ali Salmo — bachelor of architecture; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ResearcherID: AAG-1758-2019, ORCID: 0000-0002-6797-7559; grado@mgsu.ru.

Проблемы пространственного планирования г. Набережные Челны в постсоветский период

А.А. Дембич, Ю.А. Закирова

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследование посвящено выявлению особенностей формирования, анализу и определению возможных функционально-пространственных направлений градостроительного развития уникального советского города Набережные Челны. Бурное развитие города началось в 1970 г. и связано со строительством в 1969 г. Камского автомобильного завода. Планировочно город имеет открытую линейную структуру, в чистом виде воспроизводящую модель линейного города Н. Милютин. В работе поставлены задачи: выявить особенности сложившейся структурно-функциональной организации г. Набережные Челны; проанализировать соответствие сложившейся пространственной структуры города современным тенденциям городского развития, современному укладу жизни местного населения; определить ключевые направления развития и преобразования функционально-планировочной структуры и пространственной среды города.

Материалы и методы. Методика основана на комплексном подходе — сбор, систематизация и анализ литературных, проектных и картографических материалов, сравнение данных различных источников и хронологических этапов для выявления особенностей и тенденций развития города, анализ градостроительной и нормативно-законодательной документации, сопоставление данных натурных исследований г. Набережные Челны, зарубежного и исторического опыта развития индустриальных городов с перспективой перехода на новый технологический уклад.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в выявлении проблем территориального развития города и определении стратегических пространственных преобразований г. Набережные Челны, в разработке комплексной модели развития города.

Выводы. Разработана концепция-модель пространственно-территориального развития г. Набережные Челны как основа для разработки и актуализации документов градостроительного и территориального планирования. Предложены мероприятия первого этапа для реализации концепции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: моногород, индустриальный город, Набережные Челны, градостроительный каркас, полицентрия, редевелопмент, планировочная структура

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Дембич А.А., Закирова Ю.А. Проблемы пространственного планирования г. Набережные Челны в постсоветский период // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 5. С. 641–654. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.641-654

Spatial planning problems of Naberezhnye Chelny in the post-soviet period

Aleksandr A. Dembich, Yuliya A. Zakirova

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

ABSTRACT

Introduction. The research project is focused on the identification of formation features, the analysis and projection of functional and spatial development patterns of Naberezhnye Chelny, a unique Soviet city. The city's rapid development dates back to the 70ies of the 20th century, when it was boosted by the construction of the Kama automobile factory in 1969. The city has a linear structure, which reproduces N. Milyutin's linear city model. The objectives of the work are to identify features of the city's structural and functional organization, to analyze the compliance between the present-day spatial structure of the city, advanced urban development trends and the customary mode of life lead by local residents, to set key development and transformation objectives in terms of the city's functional planning structure and spatial environment.

Materials and methods. The methodology represents an integrated approach that encompasses the collection, systematization and analysis of literary, project-related, and cartographic materials, comparison of data obtained from different sources and historic periods to identify urban development features and trends, the analysis of urban planning and legislative documentation, the reconciliation of field observations and the historic development of industrial cities with a view to the transition to a novel technological development paradigm.

Results. Principal findings represent urban development problems identified by the co-authors, patterns of strategic spatial transformations of the city, and an integrated urban development model designed by the co-authors.

Conclusions. The co-authors have designed a concept model for the spatial and territorial development of Naberezhnye Chelny as the basis for the development and update of respective urban and spatial planning documents. First-stage concept implementation actions are proposed.

KEYWORDS: one-factory town, industrial town, Naberezhnye Chelny, urban planning framework, polycentric town, redevelopment, planning structure

FOR CITATION: Dembich A.A., Zakirova Yu.A. Spatial planning problems of Naberezhnye Chelny in the post-soviet period. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(5):641-654. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.641-654 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Исторически планировочная структура городов развивается в ответ на изменения и преобразования в социально-экономическом укладе жизни населения. С этим сегодня сталкиваются крупные, малые и средние города. Осмысление сути градостроительной и планировочной основы города, ключевых факторов, влияющих на ее трансформацию, существенно для принятия грамотных, адекватных современным урбанизационным процессам, управленческих решений. Основа территориально-планировочной и функциональной организации города — это градостроительный каркас. Каркас формируется главными транспортными коммуникациями, коммуникационными узлами, связанными с ними сооружениями городского значения, различного общественного назначения. Остальные компоненты городского пространства создают ткань города. Основоположителем «теории градостроительного каркаса» является советский архитектор-градостроитель А.Э. Гутнов. В исторических городах с разной степенью оформленности каркас всегда существует.

Значительное количество отечественных городов получило импульс к развитию или было создано в XX в. Одним из таких примеров является г. Набережные Челны — «новый» город, т.е. созданный почти с нулевой точки за короткий период времени. Набережные Челны — уникальный градостроительный эксперимент, наиболее полная интерпретация теоретической концепции поточно-линейной модели городского развития Н. Милютин. Особенность Набережных Челнов в том, что градостроительный каркас города изначально в проектных решениях был минимизирован, но даже в этом качестве осуществлен только фрагментарно, лишь в виде частично реализованных транспортных коммуникаций. Фактически, каркас города возник и начал складываться стихийно, и до сих пор существует только на стадии зарождения, так до конца и не сформировавшись, претерпев при этом существенную деформацию в период стихийного строительства в 90-е гг. XX в. Сейчас Набережные Челны — это «город без проявленного градостроительного каркаса», т.е. эрзац-город. По А.Э. Гутнову градостроительную систему (город) формирует, как детерминанта, градостроительный каркас. Нет полноценного каркаса — нет полноценного города. В настоящее время перед городом стоит задача разработки и принятия нового генерального плана. Для

дальнейшего развития г. Набережные Челны и соответствующего планирования в документах стратегического и градостроительного характера необходимо четкое понимание особенностей сложившейся планировочной структуры, проблем пространственного развития города и общих направлений градостроительных преобразований, характерных для городов индустриального типа.

Цель работы — выработка концепции пространственного развития крупного индустриального города Набережные Челны.

В исследовании поставлены задачи:

- выявить особенности сложившейся структурно-функциональной организации г. Набережные Челны;
- проанализировать соответствие сложившейся пространственной структуры города современным тенденциям городского развития, современному укладу жизни местного населения;
- определить ключевые задачи развития и преобразования функционально-планировочной структуры и пространственной среды города.

Набережные Челны — крупный город в Республике Татарстан, расположен на левом берегу р. Камы и Нижнекамского водохранилища. Город сформировался на основе исторического поселения — с. Мыс, которое с 1651 г. стало называться посадом. В Бережной слободе (Набережные Челны) на тот момент насчитывалось 112 дворов. К концу XIX в. Набережные Челны превратились в небольшое торговое село. В 1930 г. поселение Набережные Челны получило статус города. Население на 1939 г. составляло 9,4 тыс. человек. В начале 1960-х гг. началось строительство завода ячеистого бетона, Нижнекамской ГЭС, кирпичного завода. Население к 1969 г. составило 35,5 тыс. человек. Пригородный район сохранял свою сельскохозяйственную специализацию¹.

В 1969 г. принято Постановление № 674 «О строительстве комплекса автомобильных заводов в Набережных Челнах Татарской АССР», и в августе этого же года началось строительство завода. По проекту завод должен был производить 150 тыс. большегрузных автомобилей и 250 тыс. двигателей в год. А в 1970 г. вышло Постановление Совета министров СССР «О мерах по строительству г. Набережные Челны», и началось строительство нового города на берегу р. Кама. Фактически, было принято решение «в чистом поле» построить

¹ Тарунов А.М. Сокровища культуры Татарстана. Вып. 5. 2004.

новый город. Это была всесоюзная стройка нового завода и нового города. По архивным данным на строительной площадке работало до 100 тыс. человек.

Город строился с расчетом на 350 тыс. человек. Уже в 1975 г. население города составляло 231 тыс. человек. К 1981–1982 гг. достигнута проектная численность населения. В этот период доминировала основная цель — запустить производство, чтобы государство начало получать продукцию. Эта цель была достигнута. На основе полученных доходов планировалось развивать социальную и досуговую инфраструктуру города. Но поскольку экономика, в принципе, была затратной, денег на инфраструктуру не оказалось, и город на первых порах должен был обходиться тем, что есть. Все откладывалось до лучших времен, а они не наступили, вместо этого само государство развалилось. Дальше — двадцать лет стихийного развития. На начало 2019 г. население города составляло 533,9 тыс. человек. На протяжении своей истории город практически не диверсифицировал экономическую базу и остается моногородом с градообразующим предприятием КамАЗ².

Набережные Челны — пример «идеального индустриального социалистического города», каким его представляли советские проектировщики В 70-е годы. В его функционально-планировочной структуре и архитектурно-градостроительной организации практически в чистом виде в условиях современной для того времени технической оснащенности строительства (панельное домостроение) реализованы градостроительные концепции первой половины XX в.: модель линейного города Н. Миллутина (1930 г.), концепция жесткого функционального зонирования (согласно Афинской хартии, принятой конгрессом CIAM в Афинах в 1933 г.) и микрорайонная застройка.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ БАЗА ИССЛЕДОВАНИЯ

Эволюция планировочной структуры поселений рассмотрена в трудах И.Г. Лежавы³, В.А. Лаврова⁴, В.Л. Глазычева [1] и др. Исследованиями в области теории пространственной организации города также занимался А.А. Высоковский⁵. Если использовать его терминологию, то каркас — это коммуникативно-общественная система, которая «строится

² Портал муниципальных образований Республики Татарстан. URL: <http://msu.tatarstan.ru/rus/mregions.htm> (дата обращения: 30.10.2019).

³ Лежава И.Г. Будущее города. М. : Стройиздат, 1977.

⁴ Лавров В.А. Город и его общественный центр. М. : Стройиздат, 1964. 191 с.

⁵ Высоковский А.А. Удобный город: три уровня созида-ния // Российское Экспертное обозрение. 2007. № 4.

по схеме древовидного графа, формируется концентрированным размещением объектов публичного использования и характеризуется высокой интенсивностью использования территории», ткань — «монофункциональные территории (жилые, производственные, рекреационные), расположенные вне коммуникативно-общественной системы».

В ходе исследования рассмотрены ключевые направления пространственного развития крупных городов и индустриального типа, в частности. Стратегические цели пространственного развития городов отражены в «Глобальных целях устойчивого развития городов»⁶. Для крупных индустриальных городов можно выделить характерные приемы, которыми города пытаются достичь устойчивого состояния. Исторические предпосылки, локальные, местные особенности градостроительного развития, социально-экономические условия накладывают определенные рамки и формируют индивидуальные для города инструменты пространственного развития. В целом, выделяются следующие приемы пространственного развития: агломерационное развитие (региональный масштаб), развитие транспортно-коммуникационного каркаса (региональный масштаб), усиление каркасообразующих городских систем (транспортный, «зеленый» каркас), преобразование планировочной структуры, переход к полицентрии, смешанное использование городских территорий. Также необходимо отметить направление гуманизации среды города, повышение ее комфортности, доступности, безопасности.

В области агломерационного развития рассмотрены работы В.Я. Любовного [2], Г. Лаппо⁷, А.В. Колодина [3], В.А. Колясникова [4], Г.А. Малояна [5], Е.Н. Перцика⁸, О.М. Поляковой [6], изучающие структуру городских агломераций, их основные структурные элементы, типы формирования, особенности территориального развития.

Изучены труды Н.В. Зубаревич [7], Н.Ю. Микрюкова [8], Е.А. Ахмедовой и М.В. Солодилова [9], А.Н. Пилясова и Н.Ю. Замятиной [10], И.Д. Тургель [11, 12], посвященные развитию крупных индустриальных городов и специфике социально-экономического и территориального развития монопрофильных поселений.

⁶ The Global Goals for Sustainable Development. URL: <http://www.globalgoals.org/global-goals/sustainable-cities-and-communities> (дата обращения: 20.03.20).

⁷ Лаппо Г., Полян П., Селиванова Т. Агломерации России в XXI веке // Вестник Фонда регионального развития Иркутской области. 2007. № 1. С. 45–52.

⁸ Перцик Е.Н. Проблемы развития городских агломераций // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 2. С. 63–69.

Проанализированы вопросы развития транспортно-коммуникационного каркаса, рассмотренные в работах М.Я. Блинкина [13], В. Вучика⁹, М.Л. Петровича, А.С. Баранова [14] и В.С. Кельбах [15].

Градостроительной экологии, формированию, выявлению, усилению «зеленого» каркаса городов посвящено значительное число исследований. В данной области рассмотрены работы Н.С. Краснощековой [16], Н.М. Мингазовой [17], С.Х. Исмагиловой и других авторов [18–21].

Вопросы полицентричного развития изучены С.Б. Поморовым, Р.С. Жуковским [22], Л.В. Гайковой [23], а также в исследовании Высшей школы урбанистики «Москва: курс на полицентричность. Оценка эффектов градостроительных проектов на полицентрическое развитие Москвы» [24]. Определены разные уровни полицентрии (регион, город, район) [25, 26]. Часть авторов также связывает полицентрию с децентрализацией производства [27].

Перспективы развития промышленных территорий крупных городов определяли Т.В. Миролубова, Р.С. Николаев [28]. Ряд публикаций посвящен роли промышленных районов в экономике города на этапе перехода к постиндустрии, вопросам ревитализации, реконструкции промышленных территорий [29–31], вопросам средовых преобразований в городах [32, 33].

Рассмотрены работы по вопросам пространственно-территориального развития российских промышленных городов со схожей линейно-планировочной структурой и социально-экономическим укладом жизни жителей — г. Тольятти [34, 35] и г. Волгоград [36, 37].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использованы общеприменимые научные способы исследования и решения проблем пространственного планирования — анализ хронологии городского развития, выявление координации между социально-экономической трансформацией российского общества и развитием, преобразованием городской среды.

Материалами для данного исследования являются градостроительная документация, разработанная для г. Набережные Челны и примыкающего Тукаевского района, утвержденная и действующая в настоящее время, а также разработанная ранее (генеральные планы, разработанные и действующие в предшествующие исторические этапы развития города), документы стратегического планирования Республики Татарстан, г. Набережные Челны,

⁹ Vukan R. Vuchic. Urban Transit Systems and Technology. John Wiley & Sons, 2007. 624 p. DOI: 10.4324/9781351318167

а также результаты натурного исследования г. Набережные Челны.

Исследование основано на комплексном подходе:

1) анализ литературных источников и проектной практики, зарубежного и исторического опыта развития промышленных городов с перспективой перехода на новый технологический уклад;

2) изучение исторических особенностей становления и развития г. Набережные Челны, анализ хронологических этапов для выявления особенностей и тенденций развития города;

3) анализ градостроительной и нормативно-законодательной документации, выполненной для г. Набережные Челны, сравнение данных различных источников;

4) комплексное натурное исследование, сопоставление данных натуральных исследований. Также в работе было проведено социологическое исследование — опрос жителей города, беседы с экспертами, анализ «городских» соцсетей и публикаций местных СМИ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Планировочная структура г. Набережные Челны сложилась в результате двух градостроительных концепций — линейного города и микрорайонной застройки с использованием укрупненной планировочной единицы — межмагистральных жилых территорий. Важно отметить, что город складывался не эволюционно-историческим путем, а был построен одномоментно, в короткие сроки и под конкретную экономическую задачу. Для определения направлений современного градостроительного развития г. Набережные Челны были выявлены проблемы, напрямую связанные с градостроительными решениями Генерального плана 1972 г. и возникшие в период 90-х гг. XX века в связи с появлением рынка недвижимости.

В истории СССР 1960–70 гг. являются периодом второй волны индустриализации, наступившим вслед за периодом послевоенного восстановления советской экономики и периодом хозяйственно-экономической модернизации. Город Набережные Челны фактически был построен как «новый город» в 70-е гг. XX в. Ранее, начиная с 1967 г. по такой же линейной модели параллельно со строительством завода-гиганта был построен г. Тольятти.

Идея создания линейных городов получила распространение с конца XIX в. в связи с опубликованием книги испанского архитектора А. Сориани-Мата в 1882 г. Он и его сторонники предлагали данную форму расселения как средство децентрализации населения, сохранения естественных при-

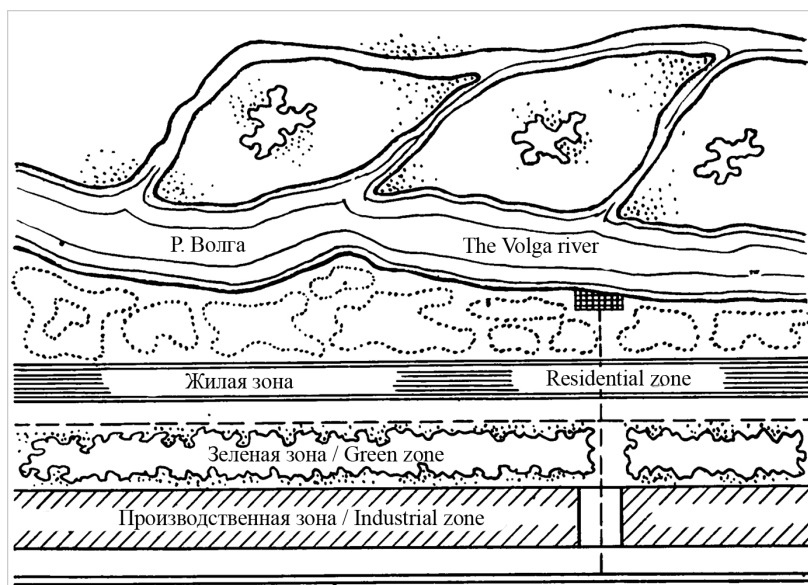


Рис. 1. Поточно-функциональная схема планировки города, Н.А. Милютин, 1930

Fig. 1. An urban plan based on functional zoning developed by N.A. Milyutin, 1930

родных ландшафтов и возможность приблизить человека и к природе, и к территориям сельскохозяйственного назначения, которые нужны были для продовольственного обеспечения. Концепция линейного города была популярна в СССР и последовательно разрабатывалась архитекторами И.И. Леонидовым, М.Я. Гинзбургом, А.Л. Пастернаком, В.А. Лавровым и другими¹⁰. Наиболее широкую известность получила упрощенная ленточная схема поточно-функционального градостроительного развития Н. Милютин (рис. 1).

Были сформулированы общие планировочные принципы линейного или ленточного города — две параллельные полосы жилого и промышленного назначения разделяются зеленой защитной полосой, на которой размещаются пункты питания, проходные ворота заводов и другие учреждения, связанные с продольным транзитным транспортным направлением. Предполагалось использование конвейерного производства, отдельные цеха которого располагались (нанизывались) с одной стороны на транспортной магистрали, с другой стороны — на железнодорожных путях. Таким образом, промышленная зона и параллельно с ней жилая могли беспрепятственно расти¹¹. В этой схеме отражалось одно из ключевых положений Афинской хартии — жесткое функциональное зонирование.

¹⁰ Хан-Магомедов С.О. Архитектура советского авангарда. Книга 2. Социальные проблемы. М. : Стройиздат, 2001.

¹¹ Милютин Н.А. Проблема строительства социалистических городов. Основные вопросы рациональной планировки и строительства населенных мест СССР. М. : Искусство, 1930.

Согласно линейной планировочной модели проведена послевоенная реконструкция Волгограда (Сталинграда) в 1946–1952 гг. Недостатки планировки стали видны на практике — чрезмерная длина продольных коммуникаций, расходы на инженерно-техническое и транспортное оборудование города, неудобства в системе общественного и культурно-бытового обслуживания населения вследствие ее растягивания. Как отмечается в монографии А.В. Бунина, Т.Ф. Саваренской¹², в линейном городе не только центры, но и все общественные здания нерационально расплывались.

Руководителем авторского коллектива первого генерального плана г. Набережные Челны, утвержденного в 1972 г., стал народный архитектор СССР, академик Борис Рубаненко. В основу планировочной организации г. Набережные Челны была положена линейная структура открытого типа с «классическим» функциональным зонированием, с параллельным расположением промышленности, селитебной зоны, прибрежной зоны отдыха вдоль берега р. Кама (рис. 2).

Протяженность города вдоль береговой линии составляет более 20 км. Ширина жилой зоны — в среднем 3,5–4 км. Площадь промышленной зоны — около 36 км². Сегодня город — это жилая зона (поделенная на жилые комплексы или укрупненные микрорайоны) и промышленная зона, разделенные линиями дорог. Жилые микрорайоны обеспечены социальными объектами (детские сады,

¹² Бунин А.В., Саваренская Т.Ф. История градостроительного искусства. Том второй. Градостроительство XX века в странах капиталистического мира. М. : Стройиздат, 1971.

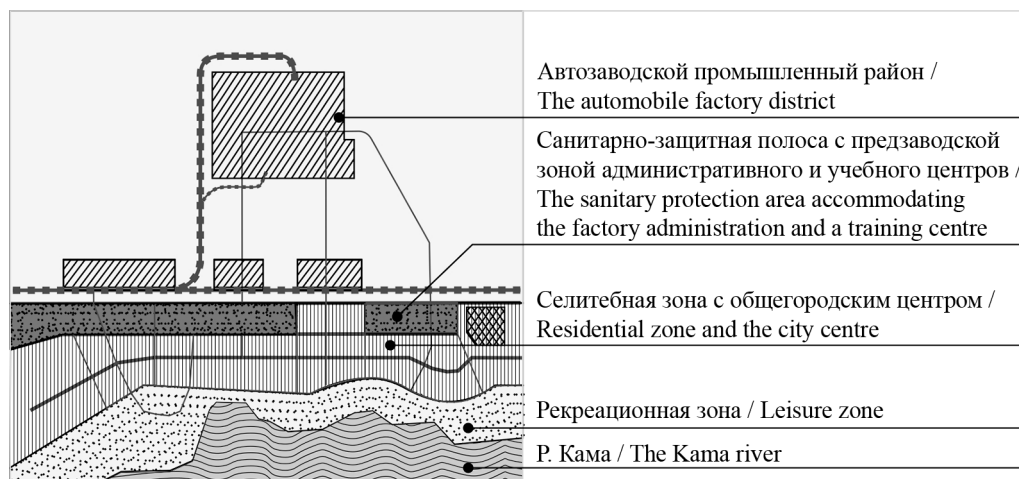


Рис. 2. Схема планировочной организации г. Набережные Челны

Fig. 2. The layout diagram of Naberezhnye Chelny

школы, поликлиники). В городе отсутствует заложное в генеральном плане ядро общественного центра. Монотонная панельная застройка разделена проспектами шириной около 100 м, а иногда и больше. Стихийно, вблизи также стихийно возникших торговых зон, формируются субцентры.

Второй ключевой концепцией, заложившей особенности планировочной структуры г. Набережные Челны, является концепция микрорайонной застройки. В Набережных Челнах методично и последовательно применена планировочная структура, основанная на использовании в качестве ее основных единиц укрупненных микрорайонов или, как их предлагали называть, межмагистральных жилых территорий (ММТ). Это была последовательная попытка (первая проба в Тольятти), получившая затем довольно широкое распространение в советской градостроительной практике, разработать и внедрить наиболее экономичный вариант организации новых селитебных территорий в крупных городах. Этот вариант планировочной структуры существенно экономил протяженность улично-дорожных и инженерных сетей, сохраняя при этом идею «бес-транспортного» внутреннего пространства жилой среды города. В генеральном плане Набережных Челнов заложено несколько ключевых идей:

- линейный город с четким полосовым функциональным зонированием;
- укрупненный микрорайон (ММТ);
- «конструктор» из элементов сборного домостроения;
- репрезентативный центр как сакральное место праздничных шествий и манифестаций;
- «платформа» — как второй уровень земли (вертикальное пространственное зонирование — активно пропагандируемое еще за 30 лет до этого Ле Корбюзье);

- транспортно-ориентированное планирование и транспортно-ориентированная жизнедеятельность (жизнь на колесах, мобильный горожанин).

В постсоветский период муниципальным руководством города периодически предпринимались определенные шаги по оснащению процессов управления городским развитием проектными и градообразующими документами. В середине первого десятилетия XXI в. был разработан и утвержден (2006 г.) новый генеральный план города, разработаны и утверждены правила землепользования и застройки города. Новый генеральный план, в основном, пролонгировал идеи генерального плана 1972 г., несколько расширив городскую черту, более равномерно распределил зону общественно-делового назначения, растянув ее вдоль проспекта Сююмбике, и добавил объездную магистраль, огибающую территорию города с юго-восточной стороны. Однако не продолженный системой проектов планировки локальных территорий (ППТ), схемами развития транспортной и инженерной инфраструктуры и в содержательном плане будучи полностью продуктом советской методики подготовки подобных документов он не оказал ощутимого влияния на текущие повседневные процессы градостроительного развития.

Сегодня г. Набережные Челны является вторым по численности городом в Республике Татарстан — более 530 тыс. человек. Город, согласно Стратегии социально-экономического развития Республики Татарстан на период до 2030 г., входит в состав полицентричной Камской агломерации (1,1 млн чел.), основное социально-экономическое направление развития которой определено как современная индустрия¹³.

¹³ Стратегия социально-экономического развития республики Татарстан до 2030 года. URL: <http://mert.tatarstan.ru/rus/strategiya-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya.htm> (дата обращения: 20.03.20).

В Стратегии социально-экономического развития города Набережные Челны на период до 2030 г. (принята в 2016 г.) одна из стратегических целей определена как сбалансированное пространственное развитие и повышение уровня комфортности городской среды. Также в документе выявлены основные направления развития: 1) идентификация города и определение его роли в агломерации; 2) формирование комфортной городской среды; 3) развитие информационно-коммуникационного пространства города и переход к формату «умный» город.

Город по-прежнему входит в перечень моногородов с наиболее сложным социально-экономическим положением (в том числе во взаимосвязи с проблемами функционирования градообразующих предприятий)¹⁴.

Площадь города составляет около 171 км². Административно он поделен на три района: Центральный, Автозаводский и Комсомольский. Город является важным транспортным узлом Камского промышленного района. В актуализированном Генеральном плане города 2017 г.¹⁵ приведен баланс функционального использования территории, отраженный в табл. 1. Обеспеченность жителей города зелеными насаждениями общего пользования на сегодняшний день составляет 8,8 м² на одного жителя.

В настоящее время перед городом стоит задача разработки нового генерального плана, который должен быть исполнен к 2022 г. В КГАСУ проводится работа по подготовке концепции градостро-

¹⁴ URL: <http://government.ru/docs/14051/> (дата обращения: 20.03.20).

¹⁵ Федеральная государственная информационная система территориального планирования. URL: <https://fgistr.economy.gov.ru/> (дата обращения: 20.03.20).

ительной реконструкции и развития функционально-планировочной структуры, которая должна лечь в основу проекта нового генерального плана города. В ходе подготовки концепции весной 2019 г. было организовано общественное обсуждение проблем развития города с активом горожан и проведение анкетного опроса среди жителей.

Изучение сложившихся к настоящему времени градостроительной и социально-экономической ситуаций в городе, публичное обсуждение городских проблем позволили определить шесть основных проблем, решение которых должно лечь сегодня в основу концепции градостроительного развития г. Набережные Челны. Часть этих проблем напрямую связана с градостроительными решениями Генерального плана 1972 г., часть связана с существенными переменами, изменившими в начале 90-х гг. XX в. всю систему отечественного градостроительства в связи с появлением рынка недвижимости.

Проблемы, предопределенные Генеральным планом 1972 года

1. Отсутствие рациональной полицентрической организации системы общественного центра города.

Идеологизация общественной жизни населения породила трактовку ядра общегородского центра, как места политических манифестаций, пространство для которых было зарезервировано генпланом, но так и не реализовано застройкой. В городе отсутствуют четко выраженные узлы общественного центра, которые концентрировали бы наиболее значимые учреждения обслуживания населения и в перспективе могли бы стать фокусами городской активности. Вместо этого общественное

Табл. 1. Баланс использования территории г. Набережные Челны

Table 1. Urban land use in Naberezhnye Chelny

	Наименование показателя / Types of urban areas	%
1	Производственные, коммунально-складские территории и территории инженерных сооружений / Areas occupied by industrial premises, warehouses and utilities	22,7
2	Территории под поверхностными водными объектами / Areas occupied by surface water bodies	12,5
3	Жилые территории / Residential areas	11
4	Территории транспортной инфраструктуры / Areas occupied by the transport infrastructure	10,5
5	Территории коллективных садов и огородов / Areas occupied by public orchards and vegetable gardens	6,2
6	Общественно-деловые территории / Public and business areas	3,9
7	Рекреационные территории / Leisure areas	3,5
8	Территории специального назначения / Special purpose areas	2
9	Прочие / Other areas	27,7

обслуживание сформировано стихийно размещенными в структуре города торговыми объектами. Особо следует отметить явный недостаток объектов культуры общегородского уровня и учреждений высшего образования.

2. Проблема тотального однообразия массовой застройки селитебной зоны города.

Приоритет потребностей государства над потребностями населения привел к жесткой экономии средств за счет минимизации архитектурных качеств жилой застройки, предельной ее стандартизации ради ускоренного запуска автомобильного производства. Наблюдается гомогенная архитектурная среда, крайне недостаточное количество знаковых общественных пространств и архитектурных объектов, способствующих архитектурному разнообразию и визуальной навигации в городской среде.

3. Проблема доминирующего автоориентированного тренда при формировании планировочной структуры города.

Эйфория тотальной автомобилизации после «автомобильного голода», овладевшая отечественными градостроителями в середине 50-х годов, предопределила гипертрофированное внимание проектировщиков Генплана 1972 г. к системе транспорта и отодвинула на второй план вопросы организации пешеходного движения. Сегодня в городе отмечается недостаточная транспортная и пешеходная связанность структурных элементов.

Проблемы, обусловленные переменами градостроительной политики в связи с появлением рынка недвижимости и новых тенденций в градостроительном развитии

1. Проблема соответствия миссии и статусу ядра Камской агломерации.

Развитие системы стратегического планирования в РФ в течение последнего десятилетия привело к разработке и утверждению в 2016 г. Стратегии социально-экономического развития Татарстана. В рамках этого документа г. Набережные Челны был определен как центр неоиндустриального развития Закамской зоны Татарстана и ядро Камской агломерации, что должно существенно усилить «связность» города с внешней транспортной инфраструктурой и существенно расширить сферу услуг для сопряженного населения.

2. Проблема реорганизации основных планировочных единиц селитебной зоны города — ММТ (укрупненных микрорайонов).

Сегодня гипертрофированные микрорайонные территории города существенно страдают от низкого уровня благоустройства, засилья неорганизованных автомобильных парковок, отсутствия сплоченности и социальной ответственности жителей за

место своего проживания. Во многом это вызвано «утратой» ощущения собственного, «приватного» жилого пространства. Изменения масштаба дворов и степени «приватности» дворовых пространств способствуют сплочению жителей и инициируют их активизацию по благоустройству приватной территории и его бережной эксплуатации.

3. Проблема выхода городских общественных пространств к Камскому побережью.

Долгое время выход к Камскому берегу в западной части города (район ГЭС) перекрывался зоной плотины и портовой зоной, в районе Междуречья — складами хлебного элеватора и Камского водозабора, в зоне Нового города — также частично был закрыт грузовыми причалами, а частично необустроенным крутым рельефом, на востоке — обширным массивом лесопарка. Заметно повлияло отсутствие прибрежных магистралей подвозящих маршрутов общественного транспорта и объектов обслуживания, способных привлечь население. Необходимо обустройство Камской набережной, обеспечение территории условиями для транспортного обслуживания и прогулочного пешеходного движения.

В целом для города можно отметить отсутствие «зеленого каркаса», позволяющего связать в единую систему отдельные существующие зеленые устройства, повысить комфортность пешеходного движения и качество архитектурной среды города.

На основе анализа ресурсов территории, социально-экономических условий и направлений развития поселения, общемировых трендов градостроительного развития индустриальных городов к разработке выявлены следующие структурно-содержательные блоки концепции градостроительного развития г. Набережные Челны:

1. Город Набережные Челны как ключевое ядро в структуре Камской агломерации.

В числе новых объектов необходимо предусмотреть территории для формирования политехнического образовательного кластера (Политехнический университет, колледжи, технопарки). В области неоиндустрии — выявить площадки для возможного размещения и развития малого и среднего бизнеса, не связанного с автомобилестроением, в том числе для предприятий пищевой и легкой промышленности, различных производств на основе разработок предметного дизайна. Также предусмотреть создание объектов агломерационного сервиса и обеспечение их «связанности» с внешней транспортной инфраструктурой — формирование двух транспортно-пересадочных узлов как новых «ворот города»: ТПУ «Восточный» и ТПУ «Западный» на базе существующего железнодорожного вокзала.

2. Формирование зеленого каркаса города и увязка ткани города с большой акваторией.

Использовать особенности природного ландшафта города, реализовать идеи и принципы «выхода» к Каме, заложенные в первом генеральном плане, которые в процессе реализации не были воплощены. Создать пространственные и транспортно-пешеходные выходы к р. Кама, рекреационную зону вдоль протяженной береговой линии.

3. Переход к полицентричной городской структуре путем формирования и развития системы общественных центров планировочных районов.

Полицентричная система городских центральных мест формируется из трех площадок:

- на территории площади Азатлык и 19-го микрорайона (место, зарезервированное для общегородского центра Генпланом 1972 г.);
- центр в районе Междуречья, как результат редевелопмента существующей депрессивной промзоны;
- разветвленный линейный центр в «старом» городе вдоль Набережночелнинского проспекта и набережной р. Мелекеска.

4. Разработка модели развития селитебных территорий и преобразования укрупненных микрорайонов.

Членение крупных межмагистральных территорий квартално-групповой застройкой, выявление внутри ММТ резервов для создания открытых общественных пространств локального уровня, решение проблем хранения автотранспорта, преобразование дворовых пространств позволят провести реорганизацию планировочной структуры на локальном уровне.

5. Смена тренда «город автомобилей» на тренд «город для пешехода».

Мерами, которые дадут возможность развить систему коммуникаций и сместить акцент от тренда «город для автомобилей» к концепции «город для пешехода», являются: формирование благоустроенных пешеходных коммуникаций, уплотняющихся к узлам обслуживания, строительство комфортных переходов через транспортные магистрали, обустройство безопасных «школьных» маршрутов. Также необходимо предусмотреть развитие магистральной сети, прежде всего для обслуживания общественного транспорта.

6. Выявление архитектурно-объемной и планировочной идентичности города.

Планируется сохранение жилого фонда, сохранение параметров жилых групп в сложившейся застройке, в отдельных случаях преобразование внешнего вида зданий (за счет доборных элементов «конструктора»), организация на первых этажах объектов общественного обслуживания. Следует,

сохраняя возможность индустриального строительства, расширить и разнообразить набор типового жилищного строительства и реконструкции путем использования системы доборных элементов формирования пластики фасадов («конструктор» элементов) и внедрения индивидуальных проектов на особо значимых городских территориях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ мирового опыта пространственно-территориального развития промышленно-ориентированных агломераций и их городов, поселений. Для принятия обоснованных проектных решений рассмотрен опыт территориальных и средовых преобразований в городах индустриального типа.

В настоящее время перепрофилирование экономики, изменения в укладе жизни горожан свойственны многим индустриальным городам. Эти изменения требуют преобразований в планировочной организации города. Так, например, заложенное в городах XX в. жесткое функциональное зонирование, на этапе постиндустриального развития становится не рациональным, и значительное число мест встраивается в селитебные территории. Можно выделить общие тренды градостроительных преобразований, характерных для городов индустриального типа — концепция смешанного функционального использования, развитие транспортно-коммуникационного каркаса, приоритет общественного транспорта, усиление зеленого каркаса города, внедрение в практику городского планирования полицентричного развития, редевелопмент промышленных объектов и территорий, повышение качества городской среды. Соответственно, данные направления градостроительных преобразований являются актуальными для г. Набережные Челны. Но требуется учитывать особую систему планировочной организации города, заложенную под реализацию и решение определенной экономической задачи на конкретной ландшафтно-географической ситуации, а также историю становления города в короткий (и относительно недавний) промежуток времени.

Таким образом, исследование позволило в качестве важных компонентов формирования генерального плана г. Набережные Челны выделить следующие приоритетные задачи развития и преобразования функционально-планировочной структуры и пространственной среды города:

- агломерационное развитие города как ключевого ядра Камской агломерации и определение площадок нового жилищного строительства за счет внутренних неосвоенных ресурсов города, а также за счет автономных поселков и жилых районов за пределами городской черты;

- развитие агломерационных связей, формирование общеагломерационного транспортно-коммуникационного каркаса, преобразование транспортной инфраструктуры города с учетом транспортных проектов макроуровня (агломерационный, региональный масштаб);

- формирование зеленого каркаса города;
- переход к полицентричной городской структуре путем формирования и развития системы общественных центров планировочных районов;
- формирование пространственных связей-выходов на р. Каму, смешанная застройка прибрежной территории;
- выявление идентичности города, создание для города средового дизайн-кода;
- строительство «уникальных» объектов.

Учитывая масштабность поставленных задач и реальные экономические возможности выделения средств на их реализацию, основным механизмом градостроительного развития следует считать активизацию муниципально-частного партнерства. В этом отношении чрезвычайно важна дорожная карта реализации, позволяющая определить участников, порядок и последовательность осуществления предложенных в концепции мероприятий градостроительного развития.

Приоритетное ранжирование предлагаемых мероприятий с учетом потенциала существующей ресурсной базы позволяет выделить в качестве первостепенных наиболее важные градостроительные решения:

- по развитию улично-дорожной сети (расчетный срок первой очереди 2022–2028 гг.): дополнительная трассировка и перевод городских транспортных связей из одной категории в другую. Например, продолжение строительства Московского проспекта через р. Челнинку и Орловское поле

до соединения с ул. Хади Такташ, как важнейшего участка транспортной инфраструктуры города;

- выявление в черте города площадок под жилищное строительство, строительство жилья внутри городской черты на территориях, не покрытых санитарно-защитными зонами;

- по формированию полицентричной структуры (расчетный срок первой очереди 2022–2024 гг.): начало формирования системы центров планировочных районов (Комсомольского, Центрального и Автозаводского). Например, формирование Центральной зоны в 19-м микрорайоне, создание центров общественного обслуживания в жилой застройке Орловского поля, за р. Мелекеска, реконструкция ТПУ «Западный»;

- по формированию «зеленого каркаса» (расчетный срок первой очереди 2022–2024 гг.): обустройство парковых пространств, набережных (Табеевская, Тукаевская набережная, набережная р. Мелекеска), формирование малого «зеленого кольца» — системы пешеходно-прогулочных связей, включая площадь Азатлык, Парк Победы, Центральный бульвар по территории 19-го комплекса, Шишкинский бульвар и Бульвар Энтузиастов в Автозаводском районе города;

- строительство крупных объектов городского и агломерационного значения (расчетный срок первой очереди 2022–2026 гг.): Бульварное кольцо, аквапарк на Табеевской набережной, ТПУ «Западный», Междуреченский бульвар (организации пространственного выхода системой общественных зон к набережной р. Камы и его обустройство в районе Междуречья, между ул. Западная и ул. Камская от Набережночелнинского проспекта в районе Храма во имя святых бессребреников Космы и Дамиана в Орловке).

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазычев В.Л. Город без границ. М.: Территория будущего, 2011. 398 с.
2. Любовный В.Я. Городские агломерации России: от стихийного к целенаправленному развитию // Муниципалитет: экономика и управление. 2015. № 1 (10). С. 5–16.
3. Колонин А.В. Городские агломерации второго порядка как фактор экономического развития региона // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2012. № 31 (172). С. 28–37.
4. Колясников В.А. Развитие понятия «городская агломерация» // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2015. № 2. С. 10–15.

5. Малоян Г.А. К проблемам формирования городских агломераций // Academia. Архитектура и строительство. 2012. № 2. С. 83–85.

6. Polyakova O.M. The regional agglomeration cultural environment integration and development with the use of the territory improvement information technology // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. P. 022009. DOI: 10.1088/1757-899X/698/2/022009

7. Зубаревич Н.В. Трансформация рынков труда российских моногородов // Вестник Московского университета. Серия 5: география. 2017. № 4. С. 38–44.

8. Микрюков Н.Ю. Монопрофильные поселения России в системах городского расселения // Региональные исследования. 2015. № 3 (49). С. 99–107.
9. Ахмедова Е.А., Солодилов М.В. Архитектурно-градостроительные особенности новейшей, инновационной инфраструктуры, возникающей при моногородах. Тольятти, Самарская область // Архитектура и строительство России. 2015. № 8 (212). С. 10–19.
10. Пилясов А.Н., Замятина Н.Ю. Монопрофильные города России: блокировки и драйверы инновационного поиска // Форсайт. 2016. Т. 10. № 3. С. 53–64. DOI: 10.17323/1995-459X.2016.3.53.64
11. Тургель И.Д. Монофункциональные города России: от выживания к устойчивому развитию. Екатеринбург : Изд-во УрАГС, 2010. 519 с.
12. Musina L.M., Neucheva M.U. Role of the state in solving the environmental problems of the industrial monoprofile cities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 107. P. 012132. DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012132
13. Blinkin M. Infrastructure and transportation. Russia, 2018. Pp. 195–204. DOI: 10.1057/978-1-137-56671-3_18
14. Петрович М.Л., Шестернева Н.Н., Желбиенок М.А., Баранов А.С. О городских транспортно-коммуникационных коридорах // Транспорт Российской Федерации. 2014. № 5 (54). С. 39–43.
15. Кельбах В.С. Транспортная инфраструктура как элемент городской агломерации // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. География. География. 2013. № 2. С. 135–144.
16. Краснощекова Н.С. Природный каркас в проекте Концепции Московской агломерации: нормативно-методические и правовые аспекты // Academia. Архитектура и строительство. 2014. № 4. С. 67–76.
17. Никитин А.В., Мингазова Н.М., Ютина Г.А. Проблемы формирования эколого-природного каркаса урбанизированных территорий (на примере г. Казани) // Известия КГАСУ. 2010. № 2 (14). С. 88–96.
18. Исмаилова С.Х. Формирование природного каркаса в структуре крупного промышленного города // Известия КГАСУ. 2017. № 4 (42). С. 129–135.
19. Исмаилова С.Х., Залетова Е.А. Формирование ландшафтно-рекреационного и транспортно-каркасов городского округа г. Казань // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (37). С. 110–117.
20. Lyapin A., Druzhinina I. Greenways as a new type of urban green construction at the foreign architectural practice // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 667. P. 012059. DOI: 10.1088/1757-899X/667/1/012059
21. Lavrikova Y., Akberdina V., Mezentseva E. Strategic guidelines of a megalopolis's development: New industrialization and ecological tension // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 72. P. 012011. DOI: 10.1088/1755-1315/72/1/012011
22. Поморов С.Б., Жуковский Р.С. Ретроспектива развития городского полицентризма и теоретических представлений о нем // Архитектон: известия вузов. 2015. № 4 (52). URL: <http://archvuz.ru/magazines/>
23. Гайкова Л. Полицентризм как парадигма развития российских городов // Архитектон: известия вузов. 2015. № 50. URL: <http://archvuz.ru/magazines/>
24. Котов Е.А., Гончаров Р.В., Новиков А.В., Никогосян К.С., Городничев А.В. Москва: курс на полицентричность. Оценка эффектов градостроительных проектов на полицентрическое развитие Москвы. М. : НИУ ВШЭ, 2016. URL: <https://publications.hse.ru/books/195960829>
25. Jun M.-J. The effects of polycentric evolution on commute times in a polycentric compact city: A case of the Seoul Metropolitan Area // Cities. 2020. Vol. 98. P. 102587. DOI: 10.1016/j.cities.2019.102587
26. Zhang W., Derudder B. How sensitive are measures of polycentricity to the choice of 'centres'? A methodological and empirical exploration // Urban Studies. 2019. Vol. 56. Issue 16. Pp. 3339–3357. DOI: 10.1177/0042098019843061
27. Li Y. Towards concentration and decentralization: The evolution of urban spatial structure of Chinese cities, 2001–2016 // Computers, Environment and Urban Systems. 2020. Vol. 80. P. 101425. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2019.101425
28. Миролюбова Т.В., Николаев Р.С. Перспективы развития промышленных территорий крупных городов в региональной экономике // Ars Administrandi. Искусство управления. 2018. Т. 10. № 4. С. 569–597. DOI: 10.17072/2218-9173-2018-4-569-597
29. Wang J., Yang Z., Qian X. Driving factors of urban shrinkage: Examining the role of local industrial diversity // Cities. 2020. Vol. 99. P. 102646. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102646
30. Loures L. Post-Industrial Landscapes as Drivers for Urban Redevelopment: Public Versus Expert Perspectives towards the Benefits and Barriers of the Reuse of Post-Industrial Sites in Urban Areas // Habitat International. 2015. Vol. 45. Pp. 72–81. DOI: 10.1016/j.habitatint.2014.06.028
31. Meyer R.J. The Role of Industrial and Post-Industrial Cities in Economic Development // Joint

Center for Housing Studies Harvard University. 2000. 30 p. URL: https://www.innovations.harvard.edu/sites/default/files/meyer_w00-1.pdf

32. Zakirova Yu.A., Khusnutdinova S.R., Faiz-rakhtmanova G.R. Transformation of the city environment: functional-planning and territorial aspects // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. P. 042069. DOI: 10.1088/1757-899X/753/4/042069

33. Залетова Е.А. Возможности изменения ландшафтно-плотностных параметров застройки, как современная парадигма планирования и реорганизации урбанизированных поселений // Известия КГАСУ. 2017. № 3 (41). С. 67–74.

34. Фабьен Б. Тольятти. Рождение нового города. Издательство «ТАТЛИН», 2014. 144 с.

35. Солодилов М.В. Социально-градостроительные трансформации занятости населения крупных постиндустриальных городов // Вектор науки ТГУ. 2015. № 2 (32–1) С. 126–132.

36. Антюфеев А.В., Антюфеева О.А. Линейное планировочное развитие города: градостроительная система «Большой Волгоград» // Социология города. 2019. № 3. С. 5–16.

37. Sadovnikova N., Parygin D., Gnedkova E., Sanzhapov B., Gidkova N. Evaluating the sustainability of Volgograd // WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2013. Vol. 179. Pp. 279–290. DOI: 10.2495/SC130241

Поступила в редакцию 6 февраля 2020 г.

Принята в доработанном виде 21 марта 2020 г.

Одобрена для публикации 28 апреля 2020 г.

Об авторах: **Александр Алексеевич Дембич** — кандидат архитектуры, доцент, заведующий кафедры градостроительства и планировки сельских населенных мест; **Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КГАСУ)**; 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1; SPIN-код: 3017-6097, ResearcherID: G-4969-2019, ORCID: 0000-0001-8078-309X; grado@kgasu.ru;

Юлия Александровна Закирова — кандидат архитектуры, доцент, доцент кафедры градостроительства и планировки сельских населенных мест; **Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КГАСУ)**; 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1; SPIN-код: 9597-9511, Scopus: 57196235162, ResearcherID: G-5413-2019, ORCID: 0000-0003-0143-2502; jzakirova@gmail.com.

REFERENCES

1. Glazychev V.L. *A city without borders*. Moscow, Territoriya budushchego, 2011; 398. (rus.).
2. Lyubovnyy V.Ya. Urban agglomerations of Russia: from natural to targeted development. *Municipality: economics and management*. 2015; 1(10):5-16. (rus.).
3. Kolodin A.V. Second-order urban agglomerations as a factor in the region's economic development. *National Interests: Priorities and Security*. 2012; 31(172):28-37. (rus.).
4. Kolyasnikov V.A. The development of the concept of «urban agglomeration». *Academic Bulletin UralNIiproekt RAASN*. 2015; 2:10-15. (rus.).
5. Maloyan G.A. Urban agglomerations: To the formation problems. *ACADEMIA. Architecture and construction*. 2012; 2:83-85. (rus.).
6. Polyakova O.M. The regional agglomeration cultural environment integration and development with the use of the territory improvement information technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 698:022009. DOI: 10.1088/1757-899X/698/2/022009

7. Zubarevich N.V. Transformation of labor markets in Russia's single-industry cities. *Moscow University Bulletin. Series 5: Geography*. 2017; 4:38-44. (rus.).
8. Mikryukov N.U. Russian company towns in urban settlement systems. *Regional studies*. 2015; 3(49):99-107. (rus.).
9. Akhmedova E.A., Solodilov M.V. Architecture and town planning features latest, innovative infrastructure arising in mono (on the example of the city Togliatti in the Samara region). *Architecture and construction of Russia*. 2015; 8(212):10-19. (rus.).
10. Pilyasov A., Zamyatina N. Single-Industry Towns of Russia: Lock-In and Drivers of Innovative Search. *Foresight and STI Governance*. 2016; 10(3):53-64. DOI: 10.17323/1995-459X.2016.3.53.64 (rus.).
11. Turgel' I.D. *Monofunctional cities of Russia: from survival to sustainable development*. Yekaterinburg, Izd-vo UrAGS, 2010; 519. (rus.).
12. Musina L.M., Neucheva M.U. Role of the state in solving the environmental problems of the industrial monopole cities. *IOP Conference Series:*

- Earth and Environmental Science*. 2018; 107:012132. DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012132
13. Blinkin M. *Infrastructure and transportation*. Russia, 2018; 195-204. DOI: 10.1057/978-1-137-56671-3_18
 14. Petrovich M.L., Shesterneva N.N., Zheblyenok M.A., Baranov A.S. About urban transport and communication corridors. *Transport of the Russian Federation*. 2014; 5(54):39-43. (rus.).
 15. Kel'bakh V.S. Transport infrastructure as an element of urban agglomeration speed. *Vestnik of Saint Petersburg University*. 2013; 2:135-144. (rus.).
 16. Krasnoshchekova N.S. The Natural Framework in the Draft Concept of the Moscow Agglomeration: Normative, Methodological and Legal Aspects. *ACADEMIA. Architecture and construction*. 2014; 4:67-76. (rus.).
 17. Nikitin A.V., Mingazova N.M., Yupina G.A. Problems of ecological-natural skeleton formation of the urbanized territories (on the example of Kazan). *Izvestiya KGASU*. 2010; 2(14):88-96. (rus.).
 18. Ismagilova S.Kh. Formation of a natural framework in structure of the large industrial city. *Izvestiya KGASU*. 2017; 4(42):129-135. (rus.).
 19. Ismagilova S.H., Zalyotova E.A. Forming of Landscape-Recreational and Transport Frameworks of the City of Kazan. *Izvestiya KGASU*. 2016; 3(37):110-117. (rus.).
 20. Lyapin A., Druzhinina I. Greenways as a new type of urban green construction at the foreign architectural practice. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 667(1):012059. DOI: 10.1088/1757-899X/667/1/012059
 21. Lavrikova Y., Akberdina V., Mezentseva E. Strategic guidelines of a megalopolis's development: New industrialization and ecological tension. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017; 72:012011. DOI: 10.1088/1755-1315/72/1/012011
 22. Pomorov S.B., Zhukovsky R.S. The evolution of urban polycentrism theory and practice in retrospect. *Architecton: proceedings of higher education*. 2015; 4(52). URL: <http://archvuz.ru/magazines/> (rus.).
 23. Gaikova L.V. Polycentricity as the paradigm of development of Russian cities. *Architecton: proceedings of higher education*. 2015; 50. URL: <http://archvuz.ru/magazines/> (rus.).
 24. Kotov Ye.A., Goncharov R.V., Novikov A.V., Nikogosyan K.S., Gorodnichev A.V. *Moscow: course on polycentricity. Assessment of the effects of urban development projects on the polycentric development of Moscow*. Moscow, NIU VSHE, 2016. URL: <https://publications.hse.ru/books/195960829> (rus.).
 25. Jun M.-J. The effects of polycentric evolution on commute times in a polycentric compact city: A case of the Seoul Metropolitan Area. *Cities*. 2020; 98:102587. DOI: 10.1016/j.cities.2019.102587
 26. Zhang W., Derudder B. How sensitive are measures of polycentricity to the choice of 'centres'? A methodological and empirical exploration. *Urban Studies*. 2019; 56(16):3339-3357. DOI: 10.1177/0042098019843061
 27. Li Y. Towards concentration and decentralization: The evolution of urban spatial structure of Chinese cities, 2001–2016. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2020; 80:101425. DOI: 10.1016/j.compenvurbusys.2019.101425
 28. Mirolubova T.V., Nikolaev R.S. Development prospects of large cities' industrial territories in the regional economy. *Ars Administrandi*. 2018; 10(4):569-597. DOI: 10.17072/2218-9173-2018-4-569-597
 29. Wang J., Yang Z., Qian X. Driving factors of urban shrinkage: Examining the role of local industrial diversity. *Cities*. 2020; 99:102646. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102646
 30. Loures L. Post-Industrial Landscapes as Drivers for Urban Redevelopment: Public Versus Expert Perspectives towards the Benefits and Barriers of the Reuse of Post-Industrial Sites in Urban Areas. *Habitat International*. 2015; 45:72-81. DOI: 10.1016/j.habitatint.2014.06.028
 31. Meyer R.J. *The Role of Industrial and Post-Industrial Cities in Economic Development*. 2000; 30. URL: https://www.innovations.harvard.edu/sites/default/files/meyer_w00-1.pdf
 32. Zakirova Yu.A., Khusnutdinova S.R., Faizrahmanova G.R. Transformation of the city environment: functional-planning and territorial aspects. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 753:042069. DOI: 10.1088/1757-899X/753/4/042069
 33. Zalyotova E.A. The possibilities of change the green-dense features, as modern paradigm of planning and reorganization of the urban settlements. *Izvestiya KGASU*. 2017; 3(41):67-74. (rus.).
 34. Fab'yen B. *Tolyatti. The birth of a new city*. Izdatel'stvo TATLIN, 2014; 144. (rus.).
 35. Solodilov M.V. Socio-urban transformation of the population employment in the large post-industrial cities. *Science Vector of Togliatti State University*. 2015; 2(32-1):126-132. (rus.).
 36. Antyufeev A., Antyufeeva O. The linear planning development of the city: urban planning system "Large Volgograd". *Sotsiologiya goroda*. 2019; 3: 5-16. (rus.).
 37. Sadovnikova N., Parygin D., Gnedkova E., Sanzhapov B., Gidkova N. Evaluating the sustainability of Volgograd. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2013; 179:279-290. DOI: 10.2495/SC130241

Received February 6, 2020.

Adopted in a revised form on March 21, 2020.

Approved for publication April 28, 2020.

B I O N O T E S: **Aleksandr A. Dembich** — Candidate of the Architecture, Associate Professor, Head of the Department of Urban Planning and Planning Rural Areas; **Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**; 1 Zelenay st., Kazan, 420043, Russian Federation; SPIN-code: 3017-6097, ResearcherID: G-4969-2019, ORCID: 0000-0001-8078-309X; grado@kgasu.ru;

Yuliya A. Zakirova — Candidate of the Architecture, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Urban Planning and Planning Rural Areas; **Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**; 1 Zelenay st., Kazan, 420043, Russian Federation; SPIN-code: 9597-9511, Scopus: 57196235162, ResearcherID: G-5413-2019, ORCID: 0000-0003-0143-2502; jzakirova@gmail.com.

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

УДК 624.131.439.8:624.154

DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.655-664

Влияние разжижения грунтов на расчетную несущую способность свай

А.З. Тер-Мартirosян¹, Ле Дык Ань¹, А.В. Манукян²

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

² *ГК «Концерн МонАрх»; г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Свайные фундаменты считаются одним из наиболее распространенных решений фундаментов при строительстве зданий и сооружений на слабых грунтах, в том числе в сейсмических районах. Однако при землетрясениях часто происходят специфические процессы, которые отрицательно влияют на взаимодействие свай с окружающим грунтом. Разжижение грунтов считается одной из самых сложных проблем в геотехнике. Под разжижением понимают процесс, при котором грунт теряет несущую способность и переходит в состояние тяжелой жидкости. Оценка влияния разжижения грунтов на расчетную несущую способность свай при сейсмических воздействиях является аспектом проектирования свайных фундаментов, который не до конца изучен.

Материалы и методы. При определении несущей способности свай использованы методики, изложенные в нормативных документах. Предложена новая методика на основе гипотезы об отрицательном трении, действующем на сваю, возникающем после воздействия сейсмической волны и разжижения части грунтового массива. Предполагается, что при самостоятельном уплотнении грунт, окружающий сваю, тянет ее вниз за счет бокового трения, т.е. на сваю действует дополнительная нагрузка, направленная вниз.

Результаты. Рассмотрены различные расчетные случаи с учетом влияния разжижения грунтов на несущую способность свай и без него при инженерно-геологических условиях в г. Хошимин (Вьетнам).

Выводы. Предложенная методика позволяет оценить снижение несущей способности свай после разжижения грунтов. Дальнейшие исследования влияния разжижения на несущую способность свай по грунту являются одними из основных задач при проектировании зданий и сооружений в сейсмических районах с целью снижения риска катастрофических разрушений фундаментов и зданий при землетрясении.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: разжижение грунтов, землетрясение, свайные фундаменты, отрицательные трения, сейсмические воздействия, несущая способность свай, оценка влияния разжижения, сравнительный анализ, специфические процессы

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Тер-Мартirosян А.З., Ле Дык Ань, Манукян А.В. Влияние разжижения грунтов на расчетную несущую способность свай // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 5. С. 655–664. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.655-664

Influence of soil liquefaction on the design bearing capacity of a single pile

Armen Z. Ter-Martirosyan¹, Le Duc Anh¹, Artur V. Manukyan²

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

² *Group of companies “Kontsern MonArkh”; Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. Pile foundations are considered one of the most suitable foundation solutions for construction in seismic areas. However, during earthquakes, specific processes often occur that adversely affect the interaction of piles with the surrounding soil. Soil liquefaction is one of the most difficult problems in geotechnical engineering in seismic areas, in which the soil will lose its strength properties. Assessing the effect of soil liquefaction on the design bearing capacity of piles during seismic impacts is an aspect of the design of pile foundations.

Materials and methods. Using the formulas in standards documents for determining the design bearing capacity of piles with the suggested new technique on the hypothesis that after the influence of seismic waves and liquefaction, the soil with self-compaction pulls the pile down due to skin friction, i.e. additional downward loads affect upon the piles.

Results. Various design cases are considered, with and without taking into account the effect of soil liquefaction on the bearing capacity of piles, under engineering and geological conditions in Ho Chi Minh City, Vietnam. A comparison is presented between the results in the considering various cases.

Conclusions. The suggested technique allows to evaluate the reduction in the bearing capacity of piles after soil liquefaction. Further researches on the effect of soil liquefaction on the bearing capacity of piles are one of the main tasks in the design of buildings and structures in seismic areas for reduction in the risk of the catastrophic destruction of the foundations and buildings during and after an earthquake.

KEYWORDS: soil liquefaction, earthquake, pile foundation, negative friction, seismic effect, the bearing capacity of piles, assessment of the influence of liquefaction, comparative analysis, specific processes

FOR CITATION: Ter-Martirosyan A.Z., Le Duc Anh, Manukyan A.V. Influence of soil liquefaction on the design bearing capacity of a single pile. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(5):655-664. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.655-664 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Свайные фундаменты в настоящее время имеют широкое применение в строительстве благодаря ряду преимуществ. Одним из них является возможность использования в особых инженерно-геологических условиях, в том числе в сейсмических районах. При проектировании с учетом сейсмических воздействий свайные фундаменты рассчитываются по первому предельному состоянию на особое сочетание нагрузок и воздействий¹ [1]. Кроме этого, необходимо учитывать влияние специфических явлений и процессов, которые могут проявляться при сейсмическом воздействии².

Общезвестно, что землетрясение может сопровождаться разжижением водонасыщенных песчаных и глинистых грунтов. Разжижением называется процесс, вследствие которого прочность грунта резко снижается и грунт ведет себя как плотная жидкость. В процессе вибрационного воздействия при землетрясении рыхлые песчаные грунты, грунтовые зерна имеют тенденцию реорганизовываться, уплотняться. В случае полностью водонасыщенных грунтов, доуплотнение сопровождается повышением давления поровой жидкости, вследствие высокой интенсивно-

сти приложенной нагрузки в короткий промежуток времени и недостаточного времени для выхода поровой жидкости из слоев грунта. Повышение давления поровой жидкости в грунте из-за разжижения представлено на рис. 1.

Грунт считается полностью разжиженным, если избыточное давление поровой жидкости сопоставимо с эффективными напряжениями в грунте. Если избыточное давление поровой жидкости много меньше действующих эффективных напряжений, и при этом происходит процесс доуплотнения, можно говорить о частичном разжижении грунта.

В работах Е.А. Вознесенского разжижение при сейсмическом воздействии представлено как частный случай динамического разжижения [2, 3]. Под действием сейсмических волн структурные связи в водонасыщенных грунтах разрушаются и грунты переходят в текучее состояние. В основе разжижения лежит сложный трехстадийный процесс: разрушение исходной структуры грунта, переход грунта в разжиженное состояние, восстановление структуры и постепенное упрочнение.

Разжижение считается более характерным для водонасыщенных илистых и песчаных грунтов³. Процесс разжижения наиболее наглядно может быть показан в виде рыхлоуложенных шаров на примере схемы несвязного грунта, которая представлена на рис. 2.

³ Иванов П.Л. Разжижение песчаных грунтов. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962. 260 с.

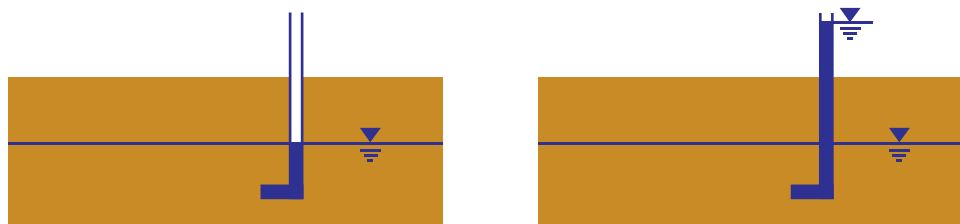


Рис. 1. Повышение давления поровой жидкости в грунте из-за разжижения

Fig. 1. Increase of pore water pressure in the soil due to liquefaction

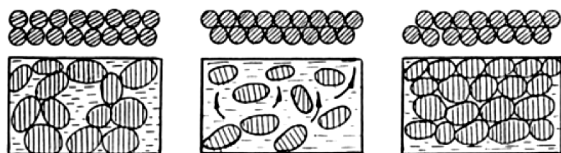


Рис. 2. Схема, иллюстрирующая переход несвязных водонасыщенных грунтов в разжиженное состояние⁴

Fig. 2. Diagram illustrating the transition from incoherent water-saturated soils to a liquefied state⁴

Разжижение грунтов — одна из главных причин серьезных разрушений зданий и сооружений после землетрясений [4, 5]. В результате таких известных землетрясений, как землетрясение в Нигате в 1964 г., землетрясение в Кобе в 1995 г., Спитакское землетрясение в 1988 г., Нефтегорское землетрясение в 1995 г., Олюторское землетрясение в 2006 г., наблюдались наибольшие повреждения и разрушения зданий и сооружений на водонасыщенных грунтах, которые перешли в разжиженное состояние под воздействием сейсмических волн [6].

Оценка возможности разжижения грунтов необходима для обеспечения устойчивости и долговечности фундаментов и зданий. Существующий вклад в изучение методов оценки возможности разжижения грунтов в сейсмических районах внесен исследованиями отечественных и зарубежных ученых,

⁴ Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1991. 447 с.

таких как: Е.А. Вознесенский [2, 3], Н.В. Seed^{5,6}, Р.К. Robertson^{7,8}, R.W. Boulanger [7], В. Ghosh [8] и др. В настоящее время полевые методы оценки динамических свойств грунтов считаются наиболее эффективными и точными, с их помощью возможно определить вероятность возникновения сейсмического разжижения при землетрясениях. В эту группу полевых методов оценки возможности разжижения грунтов входят сейсмическое, динамическое и статическое зондирование, в том числе с пьезоконусным зондом. Основные определения и принципы применения данных методов подробно рассмотрены в работах Е.А. Вознесенского [2, 3].

Сваи, как известно, рассматриваются как приемлемое решение для фундаментов в разжижаемых грунтах на основе анализа их поведения при прошлых землетрясениях, где грунт разжижается из-за

⁵ Seed H.B., Tokimatsu K., Harder L.F., Chung R. Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations // Journal of Geotechnical Engineering. ASCE. 1985. Vol. 121. No. 12. Pp. 856–869.

⁶ Seed H.B., Lee K.L. Liquefaction of saturated sands during cyclic loading // Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE, 1966. Vol. 92. No. SM6. Pp. 105–134.

⁷ Robertson P.K., Campanella R.G. Liquefaction potential of sands using the cone penetration test // Journal of Geotechnical Engineering. ASCE, 1985. Vol. 111. No. 3. Pp. 384–403.

⁸ Robertson P.K., Woeller D.J., Finn W.D.L. Seismic cone penetration test for evaluating liquefaction potential under cyclic loading // Canadian Geotechnical Journal. 1992. Vol. 29. Pp. 686–695.

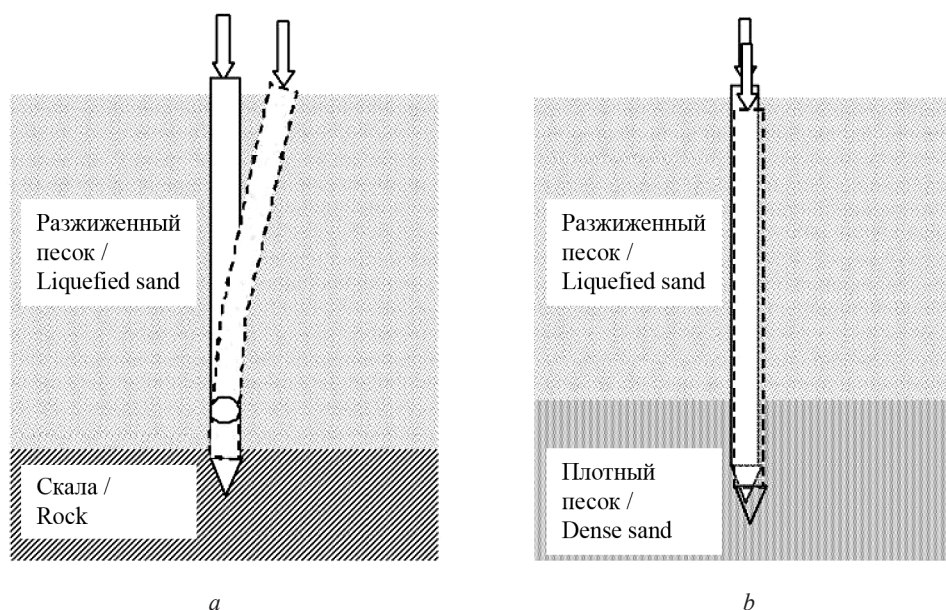


Рис. 3. Механизмы разрушения одиночной сваи при разжижении грунтов: а — свая-стойка; б — висячая свая [10]

Fig. 3. Failure mechanisms for single piles due to soil liquefaction: a — end-bearing pile; b — friction pile [10]

сейсмических нагрузок. Однако есть случаи, когда сваи показывали недостаточную устойчивость к дополнительным нагрузкам, вызванным разжижением грунтов. Когда грунт разжижается, возникают значительные потери в жесткости и прочности, которые могут привести к существенным моментам из-за увеличенных перемещений. Возможные механизмы разрушений одиночных свай из-за разжижения грунтов представлены на рис. 3.

Исследованиям взаимодействия свай с грунтом при разжижении посвящены труды многих ученых: Л.Р. Ставницер [9], J.A. Knappett [10], Asskar Janalizadeh [11], S.P.G. Madabhushi [10, 12], K. Premalatha [13], M. Saedi [14], Rui Wang [15–17], R. Shenkman, A. Ponomaryov [18, 19] и др. В работах [9–13] дается общий обзор важных факторов, которые влияют на сваю для сопротивления сейсмических нагрузок при разжижении окружающих грунтов, также описано, как сваи ведут себя в разжиженном грунте. Показаны результаты исследований [14–18] методов для анализа работы свайных фундаментов и применения метода конечных элементов для моделирования грунта и свай.

При проектировании свайных фундаментов в сейсмических районах необходимо учитывать возможность разжижения. Общие требования для проектирования свайных фундаментов в сейсмических районах приведены в существующих нормативных документах, в том числе в СП 24.13330.2011⁹. Однако нормативные документы не дают подробных указаний по учету влияния разжижения грунта на несущую способность свай. Оценка влияния разжижения грунтов на расчетную несущую способность свай при сейсмических воздействиях является аспектом проектирования свайных фундаментов, который до конца не изучен.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Несущая способность свай может определяться разными методами, которые основываются на результатах полевых испытаний [10, 20, 21], а также инженерным методом, что описано в российских нормативных документах.

В данной работе несущая способность свай определяется по формулам СП 24.13330.2011 как в случае без сейсмического воздействия (первый расчетный случай), так и при его учете (второй расчетный случай).

Авторы предлагают рассмотреть третий расчетный случай определения несущей способности свай, основанный на гипотезе о том, что грунт после воздействия сейсмической волны и разжижения

⁹ СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 (с Опечаткой, с Изменениями № 1, 2, 3).

при самостоятельном уплотнении тянет сваю вниз за счет бокового трения, т.е. на сваю действует дополнительная нагрузка, направленная вниз.

При расчете фундаментов из буронабивных свай по первой группе предельных состояний в обычных инженерно-геологических условиях (первый расчетный случай) несущая способность свай, согласно п. 7.2.6 СП 24.13330.2011, определяется по следующей формуле:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i), \quad (1)$$

где γ_c — коэффициент условий работы свай; γ_{cR} и γ_{cf} — соответственно коэффициенты условий работы грунта под нижним концом и на боковой поверхности сваи; R — расчетное сопротивление грунта основания на нижнем конце свай, кПа; A — площадь опирания сваи, которая принята равной площади поперечного сечения сваи, м²; u — периметр поперечного сечения сваи, м; f_i — расчетное сопротивление i -го слоя грунта на боковой поверхности, кПа; h_i — толщина i -го слоя грунта по боковой поверхности сваи, м.

Расчетное сопротивление под нижним концом R определяется в зависимости от типа грунта, согласно п. 7.2.7 СП 24.13330.2011.

Во втором расчетном случае рассматривается свайный фундамент, который работает на сжатие и под воздействием сейсмических нагрузок.

Несущая способность буронабивных свай вычисляется по формуле (2) с учетом сейсмических воздействий, согласно п. 12.3 СП 24.13330.2011:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} \gamma_{eq1} RA + u \sum \gamma_{cf} \gamma_{eq2} f_i h_i), \quad (2)$$

где γ_{eq1} и γ_{eq2} — понижающие коэффициенты условий работы грунта основания, которые приведены в табл. 12.1 СП 24.13330.2011, или могут определяться по результатам испытаний свай и свайных фундаментов на сейсмические воздействия.

Расчетное сопротивление грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, принимается равным нулю до расчетной глубины h_d , которая рассчитывается следующим образом:

а) по формуле (3):

$$h_d = \frac{a_1 (H + \alpha_\epsilon a_3 M)}{b_p \left(\frac{a_2}{\alpha_\epsilon} \gamma_1 \operatorname{tg} \phi_1 + c_1 \right)}, \quad (3)$$

где a_1, a_2, a_3 — безразмерные коэффициенты, которые принимаются равными соответственно 1,5; 0,8 и 0,6 при высоком ростверке и для отдельно стоящей сваи; 1, 2; 1, 2 и 0 при жесткой заделке сваи в низкий ростверк; H, M — расчетные значения соответственно горизонтальной силы, кН, и изгиба-

ющего момента, кН·м, которые приложены к свае на уровне поверхности грунта; b_p — условная ширина свай, которая определяется по приложению в СП 24.13330.2011, м; α_ε — коэффициент деформации, который определяется по формуле (4), 1/м; γ_i — расчетное значение удельного веса грунта, которое определяется с учетом взвешивающего действия воды, кН/м³; φ_p , c_i — расчетные значения соответственно угла внутреннего трения, град., и удельного сцепления грунта, кПа.

$$\alpha_\varepsilon = \sqrt[5]{\frac{K \cdot b_p}{\gamma_c EI}}. \quad (4)$$

Условная ширина b_p принимается следующим образом: $b_p = d + 1$ для свай с диаметром стволов 0,8 м и более; $b_p = 1,5d + 0,5$ для остальных размеров поперечного сечения свай;

б) по условию (5):

$$h_d \leq \frac{3}{\alpha_\varepsilon}. \quad (5)$$

Значения угла внутреннего трения φ_i принимаются уменьшенными при различной расчетной сейсмичности: 7 баллов — на 2°, 8 баллов — на 4°, 9 баллов — на 7°.

В третьем расчетном случае при сейсмических воздействиях учитывается влияние сейсмического разжижения грунтов. Несущая способность свай определяется на основе гипотезы об отрицательном трении, действующем на сваю, возникающем после воздействия сейсмической волны и разжижения части грунтового массива, т.е. разжиженный грунт ведет себя как просадочный грунт. В пределах разжиженной толщи грунта появляются дополнительные нагрузки по боковой поверхности, которые тянут сваю вниз [22]. Этот предел разжиженного грунта принимается равным расчетной глубине h_d , до которой расчетное сопротивление грунта на боковой поверхности свай следует принимать равным нулю. При определении несущей способности учитывается расчетное сопротивление по боковой поверхности с учетом дополнительных нагрузок, как силы отрицательного трения.

Дополнительные нагрузки определяются по формуле (6):

$$P_n = u \sum_0^{h_d} \tau_i h_i, \quad (6)$$

где τ_i — расчетное сопротивление, кПа, которое определяется по формуле (7):

$$\tau_i = \zeta \sigma_{zg} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i, \quad (7)$$

где ζ — экспериментальный параметр, который характеризует боковое давление на контакте свай с грунтом, и определяется по формуле (8):

$$\zeta = \left(\frac{n_{\max}}{n_i} \right) \left(1 + \frac{H_i}{H_0} \right)^{-0,5}, \quad (8)$$

где n_{\max} — наибольшее значение пористости просадочных грунтов, которое принимается равным 0,55; n_i — пористость i -го слоя грунта в долях единицы; H_i — глубина расположения середины расчетного i -го слоя грунта, м; $H_0 = 1$; σ_{zg} — вертикальное напряжение от собственного веса водонасыщенного грунта, кПа; h_i — толщина i -го разжиженного грунта, м.

Несущая способность буронабивных свай, которые расположены в разжиженных грунтах с учетом появления дополнительной отрицательной нагрузки на сваю, определяется по формуле:

$$F_d = \gamma_c \left(\gamma_{cr} \gamma_{eq1} RA + u \sum \gamma_{cf} \gamma_{eq2} f_i h_i - P_n \right). \quad (9)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для сравнения значения несущей способности свай по вышеуказанным формулам рассмотрим пример при следующих условиях:

- свайный фундамент многоэтажного здания с четырьмя подземными этажами, расположенного в г. Хошимине, сделан из буронабивных железобетонных свай диаметром $d = 1$ м, длина свай $l = 40$ м;
- расчетная сейсмичность района — 8 баллов;
- инженерно-геологические условия представлены в табл. 1. Сваи опираются на слой 3В на глубину 3,8 м.

Описание слоев грунта:

- Слой 1 — илы с органическими остатками, серо-черные, серо-коричневые, текучие, водонасыщенные;
- Слой 2В — суглинок, серо-желтый, серо-зеленый, тугопластичный, водонасыщенный;
- Слой 3А — песчанистая супесь, перемежающаяся с глиной, серая, пластичная, влажная;
- Слой 3В — песчанистая супесь, перемежающаяся с глиной, желто-серая, пластичная, водонасыщенная;
- Слой 4 — суглинок, коричнево-красный, тугопластичный, водонасыщенный.

Уровень грунтовых вод находится ниже подошвы слоя 1 на глубине 1 м.

При инженерно-геологических условиях, которые показаны в табл. 1, буронабивные сваи рассматриваются в трех расчетных случаях:

- расчетный случай № 1 — несущая способность одной сваи определяется по формуле (1) без учета сейсмических воздействий;
- расчетный случай № 2 — несущая способность одной сваи определяется по формуле (2) с учетом сейсмических воздействий;

Табл. 1. Физико-механические свойства слоев грунтов

Table 1. Physico-mechanical properties of soil layers

Характеристики / Specifications	Слой 1 / Layer 1	Слой 2B / Layer 2B	Слой 3A / Layer 3A	Слой 4 / Layer 4	Слой 3A / Layer 3A	Слой 3B / Layer 3B
Мощность слоя, м / Layer depth, m	6,7	8,2	8,3	5,5	7,5	3,8
Удельный вес, кН/м³ / Specific gravity, kN/m³	15	19,6	19,5	19,9	19,5	19,9
Число пластичности I_p , % / Plastic index PI , %	31,9	15,3	5,8	11,2	5,8	5,5
Показатель текучести I_L / Flow index I_L	1,26	0,31	0,36	0,35	0,36	0,18
Коэффициент пористости e / Void ratio e	2,107	0,705	0,623	0,651	0,623	0,572
Пористость n , % / Porosity n , %	68	41	38	40	38	36
Степень водонасыщения S_r / Degree of water saturation S_r	0,98	0,94	0,8	0,93	0,8	0,81
Угол внутреннего трения φ , град. / Angle of internal friction φ , deg.	2°56'	17°33'	23°28'	25°12'	23°28'	24°29'
Сцепление c , кПа / Cohesion c , kPa	9	18,7	10,5	9,9	10,5	11,9

• расчетный случай № 3 — несущая способность одной сваи определяется по формуле (9) при сейсмических воздействиях, учитывая влияние разжижения грунтов по новой гипотезе о проявлении дополнительных нагрузок в пределах разжиженной толщи грунта.

Для определения несущей способности сваи в расчетном случае № 3 вычисляем коэффициент деформации:

$$\alpha_e = \sqrt[5]{\frac{K \cdot b_p}{\gamma_c EI}} = \sqrt[5]{\frac{1850 \cdot 2}{1 \cdot 3 \cdot 10^7 \cdot \frac{\pi \cdot 1}{64}}} = 0,302 \text{ м}^{-1}.$$

Рассчитаем максимальное значение расчетной глубины h_d :

$$h_d = \frac{3}{0,302} = 10 \text{ м}.$$

Принимается, что при землетрясении грунт разжижается в пределе определенной толщи, мощность которой равна 10 м. Значения дополнительных отрицательных нагрузок, которые тянут сваю вниз, определяются по формулам (6) и (7).

Результаты расчета несущей способности рассмотренной сваи в данном примере в различных расчетных случаях приведены в табл. 2, 3.

Табл. 2. Расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи

Table 2. End bearing of the calculating pile

Характеристики / Specifications	Расчетный случай № 1: при обычных условиях / Design case No. 1: with normal conditions	Расчетный случай № 2: при сейсмических воздействиях / Design case No. 2: with seismic effects	Расчетный случай № 3: при сейсмических воздействиях с учетом появления дополнительных нагрузок на сваю / Design case No. 3: with seismic effects taking into account the appearance of additional loads on the pile
γ_{cR}	1	1	1
γ_{eq1}	—	0,8	0,8
R , кПа	3600	3600	3600
A , м²	0,785	0,785	0,785
$\gamma_{cR} \gamma_{eq1} RA$	2826	2261	2261

Табл. 3. Расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности сваи

Table 3. Skin friction of the calculating pile

Характеристики / Specifications	$F_d = u \sum \gamma_{cf} \gamma_{eq2} f_i h_i - P_n$, кН		
	Расчетный случай № 1: при обычных условиях / Design case No. 1: with normal conditions	Расчетный случай № 2: при сейсмических воздействиях / Design case No. 2: with seismic effects	Расчетный случай № 3: при сейсмических воздействиях с учетом появления дополнительных нагрузок на сваю / Design case No. 3: with seismic effects taking into account the appearance of additional loads on the pile
Слой 1 / Layer 1	75,7	0	-196,6
Слой 2В / Layer 2	877,5	375,2	156,2
Слой 3А / Layer 3А	875,4	612,8	612,8
Слой 4 / Layer 4	629,3	440,5	440,5
Слой 3А / Layer 3А	898,5	628,9	628,9
Слой 3В / Layer 3В	766	536,2	536,2
Сумма / Sum	4122,4	2593,6	2178

По полученным результатам составляется сравнение при рассмотренных расчетных случаях, которое представлено на рис. 4.

По результатам расчета в различных расчетных случаях, которые показаны на рис. 4, состав-

ляются процентные изменения по сопротивлению на боковой поверхности сваи и по общей несущей способности сваи, которые представлены в табл. 4.

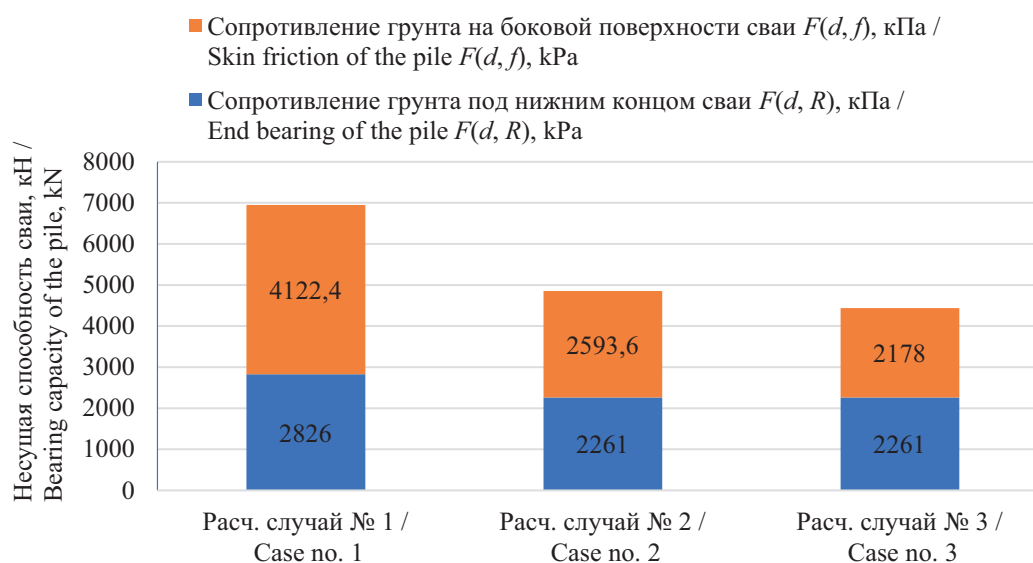


Рис. 4. Сравнение результатов расчета несущей способности сваи при различных расчетных случаях

Fig. 4. Comparison between the results of calculating the bearing capacity of a single pile in various design cases

Табл. 4. Процентные изменения значения несущей способности сваи

Table 4. Percentage changes in the value of the bearing capacity of the calculating pile

Сравнительные случаи / Comparative cases	Процентные изменения по расчетному сопротивлению на боковой поверхности сваи $F_{d,p}$, % / Percentage changes in the skin friction of the pile $F_{d,p}$, %	Процентные изменения по несущей способности сваи F_d , % / Percentage changes in the bearing capacity of the pile F_d , %
Δ_{2-1}	37,0	30,1
Δ_{3-1}	47,2	36,1
Δ_{3-2}	16,0	8,6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обобщая результаты настоящего исследования, можно сделать следующие основные выводы.

Разжижение — сложное явление при землетрясении в водонасыщенных грунтах, оно отрицательно влияет на устойчивость свайных фундаментов. При разжижении доуплотнение сопровождается повышением давления поровой жидкости и возможной потерей несущей способности.

Несущая способность свай в данной работе определяется в различных расчетных случаях: с учетом влияния разжижения и без него. Авторами предлагается новая методика определения расчетной несущей способности свай, при которой рассматривается возможность возникновения дополнительных нагрузок на сваю за счет отрицательного трения.

Значение несущей способности свай резко уменьшается из-за разжижения грунтов. По результатам расчета свай по несущей способности

в сейсмических районах сопротивление грунта по боковой поверхности, определяемое по предложенной гипотезе, уменьшается на 16 %, а общая несущая способность свай — на 8,6 % по сравнению с их значениями, определяемыми по предложенным методикам в нормативных документах. Вследствие потери несущей способности свай может наблюдаться дополнительная осадка фундаментов во время эксплуатации зданий и сооружений, из-за которой значение общей осадки может превышать предельное допустимое значение по норме.

Авторами рекомендуется дополнительно исследовать и оценить влияние разжижения грунтов на работу свайных фундаментов по предложенной гипотезе во время землетрясения и после него. После выполнения достаточного объема исследований возможно внесение в нормативные документы дополнения о проявлении подобных вторичных процессов при землетрясениях, в том числе разжижении грунтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильичев В.А., Мангушев Р.А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М. : Изд-во АСВ, 2016. 1040 с.
2. Вознесенский Е.А., Кушнарёва Е.С. Сейсмическая разжижаемость грунтов: инженерная оценка и классифицирование // Инженерная геология. 2012. № 2. С. 11–23.
3. Вознесенский Е.А. Динамические испытания грунтов. Состояние вопроса и стандартизация // Инженерные изыскания. 2013. № 5. С. 20–26.
4. Chaloulos Y.K., Giannakou A., Drosos V., Tasiopoulou P., Chacko J., de Wit S. Liquefaction-induced settlements of residential buildings subjected to induced earthquakes // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2020. Vol. 129. P. 105880. DOI: 10.1016/j.soildyn.2019.105880
5. Ter-Martirosyan A., Othman A. Simulation of soil liquefaction due to earthquake loading // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 97. P. 03025. DOI: 10.1051/e3sconf/20199703025
6. Константинова Т.Г. Влияние разжижения грунтов на макросейсмические последствия сильных землетрясений // Инженерные изыскания. 2015. № 13. С. 28–33.
7. Boulanger R.W., Idriss I.M. CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Department of civil & environmental engineering college of engineering. University of California at Davis, 2014.
8. Ghosh B., Mian J., Lubkowski Z. Design of piles in liquefiable soil: A review of design codes and methodologies // 15th World Conference on Earthquake Engineering. 2012. Vol. 28. Pp. 22746–22755.
9. Ставницер Л.П. Сейсмостойкость оснований и фундаментов. М. : Изд-во АСВ, 2010. 447 с.
10. Madabhushi G., Knappett J., Haigh S. Design of pile foundations in liquefiable soils. London : Imperial College Press, 2009. DOI: 10.1142/p628
11. Janalizadeh A., Zahmatkesh A. Lateral response of pile foundations in liquefiable soils // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2015. Vol. 7. Issue 5. Pp. 532–539. DOI: 10.1016/j.jrme.2015.05.001
12. Madabhushi S.P.G., Haigh S.K. Liquefaction induced settlement of structures // International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. 2010. Vol. 5. URL: <https://scholarsmine.mst.edu/icrageesd/05icrageesd/session12/5>
13. Premalatha K., Muthulakshmi K., Bhuvanapriya D., Nikesh L., Vinitha M., Jakkammal D.M. Analysis of pile foundations for liquefaction // International Journal for Research in Engineering Application & Management. 2019. Vol. 5. Pp. 368–374. DOI: 10.35291/2454-9150.2019.0230
14. Saeedi M., Dehestani M., Shooshpasha I., Ghasemi G., Saeedi B. Numerical analysis of pile-soil system under seismic liquefaction // Engineering Failure Analysis. 2018. Vol. 94. Pp. 96–108. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2018.07.031
15. Wang R. Analysis of seismic single pile response in liquefiable ground. Springer Theses. Springer, Berlin, Heidelberg, 2016. Pp. 55–89. DOI: 10.1007/978-3-662-49663-3_3

16. Wang R., Fu P., Zhang J.-M. Finite element model for piles in liquefiable ground // *Computers and Geotechnics*. 2016. Vol. 72. Pp. 1–14. DOI: 10.1016/j.compgeo.2015.10.009

17. Hu Q.-Q., Wang R., Zhang J.-M. DEM Simulation of Sand Liquefaction Under Partially Drained Conditions. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Cham, 2018. Pp. 165–168. DOI: 10.1007/978-3-319-97112-4_37

18. Shenkman R., Ponomaryov A. Experimental and Numerical Studies of Geotextile Encased Stone Columns in Geological Conditions of Perm Region of Russia // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 143. Pp. 530–538. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.067

19. Ponomaryov A., Sychkina E. Comparison analysis of pile foundations on the modern and ancient

clays // *ICSMGE 2017 — 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2017. Pp. 2837–2840.

20. Wrana B. Pile load capacity — Calculation methods // *Studia Geotechnica et Mechanica*. 2015. Vol. 37. Issue 4. Pp. 83–93. DOI: 10.1515/sgem-2015-0048

21. Agrahari M.K., Jain A., Puri N. Performance of pile foundations during earthquake // *Emerging Trends in Engineering Innovations & Technology Management*. 2017. URL: <https://www.researchgate.net/publication/320546379>

22. Исакова Е.А., Клевеко В.И. Особенности расчета и конструирования фундаментов на просадочных грунтах // *Вестник ПНИПУ*. 2015. № 3. С. 41–53. DOI: 11.15593/2224-9826/2015.3.05

Поступила в редакцию 10 марта 2020 г.

Принята в доработанном виде 1 апреля 2020 г.

Одобрена для публикации 28 апреля 2020 г.

ОБ АВТОРАХ: **Армен Завенович Тер-Мартirosян** — доктор технических наук, профессор кафедры механики грунтов и геотехники, руководитель научно-образовательного центра «Геотехника»; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 675967; Ter-MartirosianAZ@mgsu.ru;

Ле Дык Ань — магистрант кафедры механики грунтов и геотехники; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0002-7899-6122; KafedraMGG@mgsu.ru;

Артур Ванушевич Манукян — доктор технических наук, заместитель генерального директора — технический директор; **ГК «Концерн МонАрх»**; 125284, г. Москва, Ленинградский пр-т, д. 31А, стр. 1; a.manukyan@mon-arch.ru.

REFERENCES

1. Ilichev V.A., Mangushev R.A. *Handbook of geotechnics. Foundations, foundations and underground structures*. Moscow, ASV Publ., 2016; 1040. (rus.).

2. Voznesenskiy E.A., Kushnareva E.S. Seismic soil liquefaction: engineering assessment and classification. *Engineering geology*. 2012; 2:11-23. (rus.).

3. Voznesenskiy E.A. Dynamic tests of soils. State of the question and standardization. *Engineering surveys*. 2013; 5:20-26. (rus.).

4. Chaloulos Y.K., Giannakou A., Drosos V., Tasiopoulou P., Chacko J., de Wit S. Liquefaction-induced settlements of residential buildings subjected to induced earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2020; 129:105880. DOI: 10.1016/j.soildyn.2019.105880

5. Ter-Martirosyan A., Othman A. Simulation of soil liquefaction due to earthquake loading. *E3S Web of Conferences*. 2019; 97:03025. DOI: 10.1051/e3s-conf/20199703025

6. Konstantinova T.G. The role of soil liquefaction in macroseismic consequences of strong earthquakes. *Engineering surveys*. 2015; 13:28-33. (rus.).

7. Boulanger R.W., Idriss I.M. *CPT and SPT based liquefaction triggering procedures*. Department of civil & environmental engineering college of engineering. University of California at Davis, 2014.

8. Ghosh B., Mian J., Lubkowski Z. Design of piles in liquefiable soil: A review of design codes and methodologies. *15th World Conference on Earthquake Engineering*. 2012; 28:22746-22755.

9. Stavnitser L.R. *Earthquake resistance of foundations and foundations*. Moscow, ASV Publ., 2010; 448. (rus.).

10. Madabhushi G., Knappett J., Haigh S. *Design of pile foundations in liquefiable soils*. London, Imperial College Press, 2009. DOI: 10.1142/p628

11. Janalizadeh A., Zahmatkesh A. Lateral response of pile foundations in liquefiable soils. *Journal*

of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2015; 7(5):532-539. DOI: 10.1016/j.jrmge.2015.05.001

12. Madabhushi S.P.G., Haigh S.K. Liquefaction induced settlement of structures. *International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*. 2010; 5. URL: <https://scholarsmine.mst.edu/icrageesd/05icrageesd/session12/5>

13. Premalatha K., Muthulakshmi K., Bhuvanapriya D., Nikesh L., Vinitha M., Jakkammal D.M. Analysis of pile foundation for liquefaction. *International Journal for Research in Engineering Application & Management*. 2019; 5:368-374. DOI: 10.35291/2454-9150.2019.0230

14. Saeedi M., Dehestani M., Shooshpasha I., Ghasemi G., Saeedi B. Numerical analysis of pile-soil system under seismic liquefaction. *Engineering Failure Analysis*. 2018; 94:96-108. DOI: 10.1016/j.eng-failanal.2018.07.031

15. Wang R. *Analysis of seismic single pile response in liquefiable ground*. Springer Theses. Springer, Berlin, Heidelberg, 2016; 55-89. DOI: 10.1007/978-3-662-49663-3_3

16. Wang R., Fu P., Zhang J.-M. Finite element model for piles in liquefiable ground. *Computers and Geotechnics*. 2016; 72:1-14. DOI: 10.1016/j.comp-geo.2015.10.009

17. Hu Q.-Q., Wang R., Zhang J.-M. *DEM Simulation of Sand Liquefaction Under Partially Drained Conditions*. Springer Series in Geomechanics and Geoenvironmental Engineering. Springer, Cham, 2018; 165-168. DOI: 10.1007/978-3-319-97112-4_37

18. Shenkman R., Ponomaryov A. Experimental and Numerical Studies of Geotextile Encased Stone Columns in Geological Conditions of Perm Region of Russia. *Procedia Engineering*. 2016; 143:530-538. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.067

19. Ponomaryov A., Sychkina E. Comparison analysis of pile foundations on the modern and ancient clays. *ICSMGE 2017 — 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2017; 2837-2840.

20. Wrana B. Pile load capacity — Calculation methods. *Studia Geotechnica et Mechanica*. 2015; 37(4):83-93. DOI: 10.1515/sgem-2015-0048

21. Agrahari M.K., Jain A., Puri N. Performance of pile foundations during earthquake. *Emerging Trends in Engineering Innovations & Technology Management*. 2017. URL: <https://www.researchgate.net/publication/320546379>

22. Isakova E.A., Kleveko V.I. Features of the calculation and construction of foundations on subsidence soils. *Herald of the PNRPU*. 2015; 3:41-53. DOI: 11.15593/2224-9826/2015.3.05 (rus.).

Received March 10, 2020.

Adopted in a revised form on April 1, 2020.

Approved for publication April 28, 2020.

BIONOTES: **Armen Z. Ter-Martirosyan** — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Soil Mechanics and Geotechnics, Head of Research and Education Center “Geotechnics”; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 675967; Ter-MartirosianAZ@mgsu.ru;

Le Duc Anh — undergraduate of the Department of Soil Mechanics and Geotechnics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-7899-6122; KafedraMGG@mgsu.ru;

Artur V. Manukyan — Doctor of Technical Sciences, Deputy Chief Executive Officer — technical director; **Group of companies “Kontsern MonArkh”**; 31A, build. 1 Leningradskiy pr., Moscow, 125284, Russian Federation; a.manukyan@mon-arch.ru.

Экспериментальное исследование принудительно вентилируемой сваи

Н.С. Окоороков¹, А.Н. Коркишко², А.П. Коржикова²

¹ НИПИГАЗпереработка; г. Тюмень, Россия;

² Тюменский индустриальный университет (ТИУ); г. Тюмень, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Одним из наиболее распространенных методов инженерной защиты сооружений в криолитозоне является метод термостабилизации грунтов оснований. На сегодняшний день строительство в регионах с распространением многолетнемерзлых грунтов, как правило, ведется по первому принципу — с сохранением отрицательных температур основания. Рассмотрен принципиально новый метод термостабилизации грунта — принудительная вентиляция сваи. Цель лабораторных экспериментов — моделирование работы промерзания грунта под действием термоопоры — «вентилируемая охлаждаемая свая». Реализована задача снизить температуру грунта для его перехода из талого состояния в мерзлое или пластичномерзлое состояние, тем самым обосновав эффективность применения данного вида термостабилизации грунта. Объект исследования — вентилируемая свая, погруженная в песчаный грунт с принудительной вентиляцией холодного воздуха холодильной машины по телу сваи.

Материалы и методы. Лабораторное исследование масштабной модели.

Результаты. Согласно данным температурных датчиков принудительная вентилируемая свая показала радиус заморозки на конец второй зимы 10 см, что согласно масштабному фактору эксперимента равно 2 м. Применение данной сваи возможно как метод термостабилизации и охлаждения грунта. В ходе эксперимента грунты перешли из талого в мерзлое состояние. В летний период оттайка происходила только в деятельном слое, а отрицательные температуры сохранялись и сформировали уровень мерзлоты, о чем говорят температурные поля, построенные на летний период.

Выводы. Мерзлое состояние грунта в летний период сохраняется с сохранением несущей способности сваи, без снижения несущей способности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: свая, принудительно вентилируемая свая, термостабилизация грунта, эксперимент

Благодарности: Особую благодарность выражаем Центральной научно-исследовательской лаборатории инженерного мерзлотоведения ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», а также анонимным рецензентам.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Окоороков Н.С., Коркишко А.Н., Коржикова А.П. Экспериментальное исследование принудительно вентилируемой сваи // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 5. С. 665–677. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.665-677

An experimental study of a forced ventilation pile

Nikita S. Okorokov¹, Alexandr N. Korkishko², Anastasiya P. Korzhikova²

¹ NIPIGazpererabotka; Tyumen, Russian Federation;

² Tyumen Industrial University; Tyumen, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Thermal stabilization of foundation soils is a most widely spread method of engineering protection of structures in the cryolithic zone. Presently, as a rule, any construction is feasible if the footing temperature remains negative in the regions that have permafrost soils. In the article, the co-authors have analyzed a conceptually new method of thermal stabilization of soil, that is, the application of forced ventilation piles. The goal of the laboratory experiments is to simulate the frozen soil behaviour in case of its exposure to a ventilated and cooled pile. The co-authors have solved the problem of soil temperature reduction to ensure the soil transition from the thawed state into the frozen or plastic frozen state. Besides, the co-authors have substantiated the efficiency of this thermal stabilization method. The subject of this research is a ventilated pile, driven into sandy soil and ventilated by the cool air generated by the refrigerating unit.

Materials and methods. A laboratory study of a scaled model.

Results. According to the data provided by the temperature sensors, a forced ventilation pile kept the soil frozen in the radius of 10 cm as of the end of the second winter, which means 2 meters, given the scale factor of the experiment. This methodology can also be applied as a method of thermal stabilization and refrigeration of soils. In the course of the experiment, thawed soil froze. In summer, the seasonal active soil layer thawed, and negative temperatures remained unchanged and generated a frost table registered by the temperature fields, used in the summer period.

Conclusions. Soil remains frozen in summer; the bearing capacity of the pile remains unchanged.

KEY WORDS: pile, forced ventilation pile, thermal stabilization of soil, experiment

Acknowledgements: The co-authors would like to express thanks to the Central research and development laboratory of permafrost research of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Tyumen Industrial University, and to anonymous reviewers.

FOR CITATION: Okorokov N.S., Korkishko A.N., Korzhikova A.P. An experimental study of a forced ventilation pile. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(5):665-677. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.665-677 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее актуальных проблем проектирования, строительства и эксплуатации зданий и инженерных сооружений в условиях Крайнего Севера является обеспечение устойчивости их оснований и эксплуатационной надежности. В результате теплового и механического антропогенного воздействия происходит нарушение равновесия геотехнической системы «сооружение — грунты основания» со значительным нарушением естественных ландшафтов и активизацией негативных для инженерных объектов геокриологических процессов, влекущих за собой деформации фундаментов. Один из наиболее распространенных методов инженерной защиты сооружений в криолитозоне — метод термостабилизации грунтов оснований. В настоящее время строительство в регионах с распространением многолетнемерзлых грунтов (ММГ), как правило, ведется по первому принципу — с сохранением отрицательных температур основания.

Исследование стабильности грунтового основания в условиях ММГ отражено в работах [1, 2], однако, наиболее остро вопрос стабилизации грунтового основания стоит для линейных инженерных сооружений [3–5].

На сегодняшний день проблема термостабилизации грунтового основания при строительстве на ММГ решена путем использования систем стабилизации типа горизонтальных и вертикальных естественно действующих трубчатых систем («ГЕТ» и «ВЕТ») [6–8], индивидуальных стабилизаторов, глубинных сезонно-охлаждающих устройств (СОУ) [9].

Исследование их работы показало целесообразность и эффективность принятых решений [10], однако, высокая стоимость систем термостабилизации стимулирует поиск новых решений: патенты

на полезную модель и изобретения по термостабилизации^{1, 2, 3, 4} также предусматривают применение какой-либо жидкости для поддержания отрицательной температуры⁵.

Более подробное изучение фундаментов мелкого заложения в ММГ с армированной песчаной подушкой отражено в работах [11–13], с изогнутой конструкцией фундамента — в труде [14]. Разработки комплекса охлаждающих систем представлены в публикации [15]. Особенности проведения инженерных изысканий в условиях ММГ описаны в статьях [16–18], в [19, 20] уделено особое внимание процессу оттаивания льдов грунта. Однако охлаждение свайного основания без использования хладагента не было исследовано.

Объект исследования — вентилируемая свая с принудительной вентиляцией холодного воздуха холодильной машины по телу, погруженная в песчаный грунт.

Цель лабораторных экспериментов — моделирование работы промерзания грунта под действием термоопоры — «вентилируемая охлаждаемая свая». Реализована задача снизить температуру грунта для его перехода из талого состояния в мерзлое или пластичномерзлое состояние, тем самым обосновав эффективность применения данного вида термостабилизации грунта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изучения эффективности применения вентилируемой охлаждаемой сваи в грунтах в Центральной научно-исследовательской лаборатории инженерного мерзлотоведения ФГБОУ ВО «ТИУ» создана экспериментальная установка, представляющая собой моделируемую свая, нагнетательный элемент и бак, наполненный грунтом (рис. 1).

¹ Патент РФ № 2616029. Способ термостабилизации грунтов оснований свайных фундаментов опор трубопровода / П.А. Ревель-Муроз, Ю.В. Лисин, В.И. Суриков, С.Б. Татауров; патентообл.: Публичное акционерное общество «Транснефть», Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт транспорта нефти и нефтепродуктов Транснефть». Заявл. 2015155689, 25.12.2015. Бюл. № 11.

² Патент РФ № 2620664. Способ термостабилизации грунтов и устройство для его реализации / П.А. Ревель-Муроз, Ю.В. Лисин, А.Е. Сощенко, В.И. Суриков, С.Б. Татауров; патентообл.: Публичное акционерное общество «Транснефть», Общество с ограниченной ответственностью «Транснефть-Восток», Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт транспорта нефти и нефтепродуктов Транснефть». Заявл. 2015156875, 30.12.2015. Бюл. № 16.

³ Патент РФ № 2629281. Охлаждающий термосифон для глубинной термостабилизации грунтов (варианты) / И.П. Рило; патентообл.: И.П. Рило. Заявл. 2016117601, 29.04.2016. Бюл. № 25.

⁴ Патент РФ № 168171. Устройство для охлаждения грунта с локальной зоной термостабилизации / В.И. Гвоздик; патентообл.: В.И. Гвоздик. Заявл. 2016114856, 18.04.2016. Бюл. № 3.

⁵ Патент РФ № 150908. Устройство для термостабилизации грунтов / Я.Б. Горелик, В.П. Мельников, И.З. Фахретдинов, В.Ф. Штоль, Р.Я. Горелик; патентообл.: Общество с ограниченной ответственностью Инновационное предприятие «Снежинка». Заявл. 2014137685/03, 17.09.2014. Бюл. № 7.

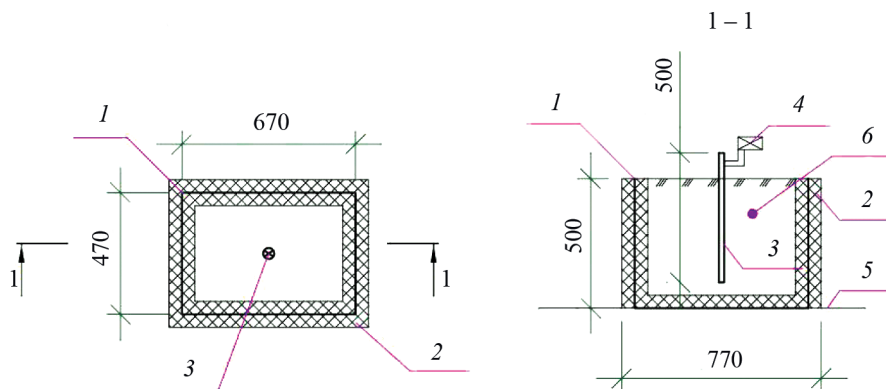


Рис. 1. Схема и разрез бака: 1 — фанерный каркас бака; 2 — утеплитель пенопласт (50 мм); 3 — модель вентилируемой сваи; 4 — нагнетательный элемент в виде вентилятора улиткового типа; 5 — пол морозильной камеры; 6 — температурный датчик (показан условно)

Fig. 1. Schematic representation of a tank; tank section: 1 — Tank frame made of plywood; 2 — Heat retainer made of expanded plastic (50 mm); 3 — Model of a ventilated pile; 4 — Pressure-actuated spiral fan; 5 — Freezer floor; 6 — Temperature sensor (a schematic symbol)

Для фиксации изменения температур и температурных полей использованы термодатчики с точностью 0,01 °С. Схема расстановки температурных датчиков приведена на рис. 2.

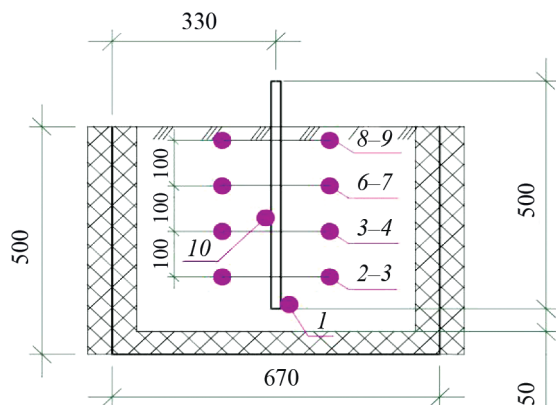


Рис. 2. Схема расположения температурных датчиков
Fig. 2. Layout of temperature sensors

Экспериментальная установка представлена баком с габаритными размерами 500 х 750 мм и высотой 500 мм, выполненным из фанеры и утепленным пенопластом с внутренней и внешней стороны. Корпус лотка изготовлен из фанеры толщиной 20 мм, места стыка промазаны герметиком. Внутренние и внешние стенки, а также дно бака проклеено утеплителем во избежание промерзания бака (рис. 3).

Для моделирования насыпи был отобран песок мелкой и средней крупности (рис. 4), так как качество насыпного грунта играет большую роль, зачастую грунт на месторождении пылеватый низкого качества с включениями большого количества



Рис. 3. Бак с установленным утеплителем
Fig. 3. Tank with heat retainer inside

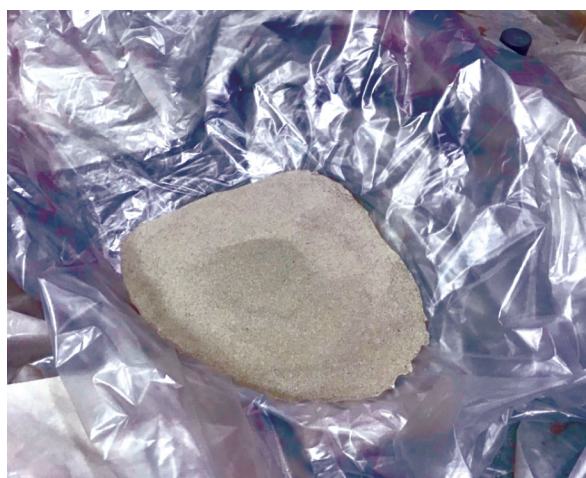


Рис. 4. Песок
Fig. 4. Sand

ледяных частиц, что в свою очередь при оттаивании может дать большие усадки земляного полотна.

Установка помещалась в морозильную камеру. Происходила фиксация деформации морозного пучения, температуры грунта. С учетом масштабного фактора эксперимента выбран температурный режим испытания.



Рис. 5. Бак с установленной свайей и первой термопарой
Fig. 5. Tank with a pile and the first thermal couple

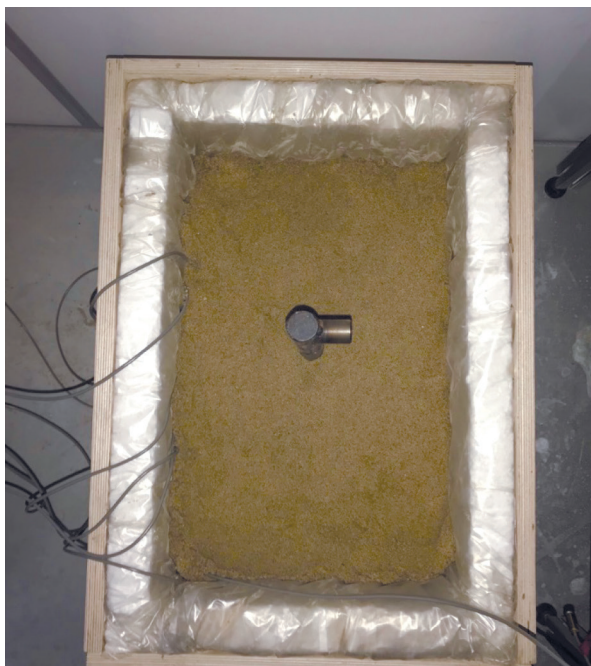


Рис. 6. Завершающая стадия укладки грунта и термопар
Fig. 6. The final stage of soil and thermal couple placement

На рис. 5 и 6 показана последовательная укладка грунта и термоопор в соответствии со схемой расположения термодатчиков, показанной на рис. 2.

Целью лабораторного эксперимента было моделирование работы принудительно охлаждаемой сваи, длиной 10 м и диаметром 426 мм, толщиной стенки 10 мм, что является средним значением для свай, применяемых при строительстве на вечномерзлых грунтах в районах Крайнего Севера.

Для приведения работы сваи из натуральных условий к лабораторным использовался масштабный коэффициент приведения геометрических размеров $n = 1:20$. В соответствии с масштабом моделирования получаем следующие характеристики модели: диаметр сваи 21,3 мм, толщина стенки 1 мм, длина вентилируемой сваи 50 см.

Для моделирования воздушного потока определим необходимый объем воздуха для конвекции в свае с диаметром 21 мм по формуле:

$$F = \frac{L}{V \cdot 3600},$$

где F — площадь сваи; L — расход воздуха; V — скорость воздушного потока.

Задаем скорость воздушного потока 5 м/с. Определяем расход и подбираем необходимый вентилятор:

$$L = \frac{\pi d^2}{4} 5 \cdot 3600.$$

Таким образом, получаем расход воздуха, проходящего через тело вентилируемой сваи, в диапазоне от 6–8 м³/ч.

Краткая климатическая характеристика района

Для моделирования температурного диапазона взяты данные климатологии Ямбургского месторождения на основании инженерно-гидрометеорологических изысканий по объекту «Кустовые основания и подъездные дороги к кустам скважин № 1Ач, 2Ач Ямбургского месторождения» на стадии проектной и рабочей документации.

Климатическая характеристика района изысканий принята по ближайшей метеостанции Тазовский (Хальмер-Седэ), действующей с 1944 г. По климатическим характеристикам район изысканий относится к I району, IГ подрайону климатического районирования для строительства согласно СП 131.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП 23-01-99* с Изменениями № 2 от 01.12.2015).

Воздействие западной (атлантической) циркуляции и воздушных масс Арктического бассейна оказывает влияние на район изысканий. Повторяемость антициклональной погоды и интенсивности

трансформации воздушных масс летом и зимой скачивается на регионе.

Средняя годовая температура воздуха в районе изысканий (табл. 1) составляет $-8,8$ °С. Самым холодным месяцем является январь, средняя температура которого $-26,5$ °С. Самый теплый месяц — июль. Средняя месячная температура воздуха в июле равна $14,2$ °С.

В первой декаде сентября наблюдаются первые заморозки, последние — до начала июля. 137 дней — средняя продолжительность безморозного периода, наибольшая — 169 дней, наименьшая — 107 дней.

$52,6$ и $33,0$ °С — абсолютный температурный минимум и максимум за период наблюдений, средний из абсолютных минимумов и максимумов температуры воздуха — минус $46,9$ и $27,5$ °С соответственно.

Максимальная высота снежного покрова наблюдается чаще всего в конце марта – начале апреля. Наибольшая за зиму высота снежного покрова составила 116 см. Среднее число дней с устойчивым снежным покровом — 232. Средняя высота снежного покрова из наибольших за зиму по постоянной рейке (место установки рейки — открытое) по метеостанции Тазовский (Хальмер-Седэ) составила 38 см, максимальная — 97 см, минимальная — 7 см.

Средняя годовая температура поверхности почвы (табл. 2) по пгт. Тазовский (Хальмер-Седэ) со-

ставляет $-8,3$ °С, абсолютный максимум — $47,7$ °С, абсолютный минимум — $-52,4$ °С.

Анализируя исходные данные по температурам и уровню промерзания почвы, а также согласно критерию моделирования, при учете масштабного коэффициента были смоделированы следующие температурные и временные условия эксперимента:

14 ч 30 мин холодильная камера и помещенная в ней экспериментальная установка будут находиться при отрицательной температуре, равной -17 °С, что соответствует зимнему периоду.

7 ч 00 мин холодильная камера и экспериментальная установка в ней будут находиться при положительной температуре 8 °С, что соответствует летнему периоду.

«Зимний» период продолжительностью 14 ч 30 мин и «летний» период продолжительностью 7 ч 00 мин соответствуют одному циклу эксперимента или одному году. Так как цель эксперимента — зафиксировать «накопление» мерзлоты, количество циклов было принято равным трем.

Лабораторное оборудование, используемое для проведения эксперимента

Для предотвращения промерзания грунта по граням бака в качестве теплоизолятора применялся пенопласт, приклеенный на стенки бака, выполненные из березовой фанеры. Технические характеристики используемых материалов представлены в табл. 3.

Табл. 1. Средняя месячная и годовая температуры воздуха t , °С

Table 1. Average monthly and annual air temperature t , °С

Месяц / Month												Год / Year
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
-26,5	-26,1	-20,8	-13,5	-4,6	6,3	14,2	11,0	4,4	-6,6	-18,7	-23,8	-8,8

Табл. 2. Средняя месячная и годовая температуры поверхности почвы

Table 2. Average monthly and annual soil surface temperature

Статистика / Statistical data	Месяц / Month												Год / Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средняя / Average	-27,2	-26,2	-18,2	-14,9	-3,0	8,4	15,6	11,9	3,7	-5,9	-18,1	-25,4	-8,3
Средняя max / Average max	-22,5	-22,1	-15,0	-8,5	-0,1	14,2	23,8	18,2	8,2	-3,5	-14,7	20,2	-3,5
Средняя min / Average min	-29,8	-29,0	-24,0	-18,8	-6,9	3,4	9,4	7,1	1,2	-8,5	-21,9	-27,5	-12,1
Абсолютный минимум / Absolute minimum	-52,2	-52,4	-51,5	-42,0	-26,7	-10,0	-0,5	-1,7	-14,2	-33,2	-43,6	-51,0	-52,4
Абсолютный максимум / Absolute maximum	-0,1	0,0	0,0	0,0	21,3	40,5	47,7	38,0	28,5	10,0	0,0	0,0	47,7

Табл. 3. Физические характеристики используемых материалов

Table 3. Physical characteristics of the materials used

Теплоизолятор / Heat retainer	Плотность, кг/м ³ / Density, kg/m ³	Толщина, м / Thickness, m	Теплопроводность, Вт/(мК) / Thermal conductivity, W/(mK)
ППС-10 / Foam polystyrene-10	10	100	0,042
Березовая фанера / Birch tree plywood	660	20	0,16

Приведенное сопротивление теплопередаче R_0 , $\text{m}^2\text{C}/\text{Вт}$, заданной многослойной ограждающей конструкции, находим как сумму термических сопротивлений отдельных слоев по формуле:

$$R_0 = R_1 + R_2,$$

где R_1, R_2 — термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, которые

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i},$$

где δ_i — толщина i -го слоя; λ_i — коэффициент теплопроводности i -го слоя.

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче R_0 будет равно:

$$R_0 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} = 1,53 \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт},$$

что больше требуемого значения $R_0 = 0,8 \text{ м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, согласно п. 6.2 СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах».

Для наблюдения за изменением температурных полей использовался универсальный многоканальный измеритель-регистратор «Терем-4.1», предназначенный для контроля, регистрации в памяти и отображения информации, поступающей от многих датчиков различного вида — датчиков деформации, перемещений, температуры, теплового потока, влажности, силы, давления, напряжений и т.п.

Прибор может применяться для периодического или непрерывного мониторинга состояния различных объектов (зданий, сооружений, мостов) и технологических процессов.

Технические характеристики прибора и используемых датчиков:

- количество обслуживаемых датчиков — 1...256;

- количество адаптеров, подключаемых к центральному блоку, — 1...321;

- количество датчиков, подключаемых к одному адаптеру (в зависимости от типа адаптера) — 1...82;

- размер встроенной flash-памяти — не менее 2 Гб.

Период отсчетов, задаваемый пользователем:

- минимальный, 1 с;
- максимальный, 59 ч.

Габаритные размеры, мм:

- центрального устройства (ЦУ) — 160×105×28;
- адаптера — 85×55×25.

Масса, кг, не более:

- ЦУ — 0,23;
- адаптера — 0,10;

- степень защиты от пыли и влаги по ГОСТ 14254-80 IP54;

- допустимая температура внешней среды — 20...+50 $^{\circ}\text{C}$;

- атмосферное давление — 86...107 кПа;

- относительная влажность воздуха (при температуре 35 $^{\circ}\text{C}$) — не более 80 %.

Термопара ХК (ХА):

- диапазон измерения температуры — 20...+600 $^{\circ}\text{C}$;

- пределы основной погрешности измерения — $\pm 1,0$ %.

Датчик температуры среды ДТС-1.0 (ДТС-1.1):

- диапазон измерения — 20...+125 $^{\circ}\text{C}$;

- пределы основной погрешности измерения в диапазоне — 10...85 $^{\circ}\text{C}$, % — $\pm 0,5$.

Структура регистратора «Терем-4.1» приведена на рис. 7. Типы и количество подключенных датчиков показаны для примера. Основой регистратора является микропроцессорное ЦУ, к которому по четырехпроводной линии связи подключаются адаптеры связи с датчиками. Длина линии связи, необходимые типы и количество адаптеров зависят от конкретного объекта, на который устанавливается регистратор. Адаптеры изготавливаются индивидуально и могут обслуживать от одного до восьми датчиков одного или различных видов. Для снижения влияния помех адаптеры располагаются вблизи датчиков. Между ЦУ и адаптером информация передается в цифровом виде.

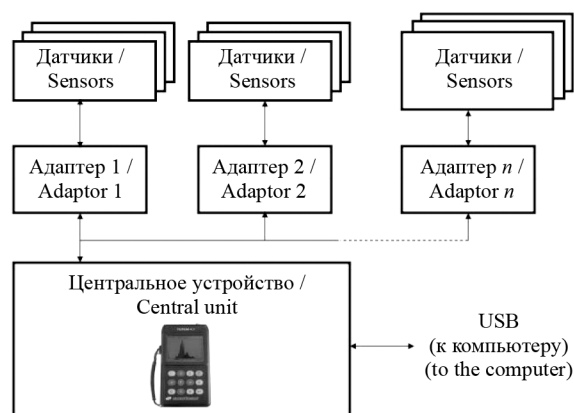


Рис. 7. Структурная схема регистратора «Терем-4.1»

Fig. 7. Block diagram of the meter-recorder "Terem-4.1"

Микроконтроллер контролирует работу всех компонентов ЦУ. Он обеспечивает опрос клавиатуры, отображение информации на дисплее, опрос адаптеров, запись и чтение информации из энергонезависимой памяти, подсчет календарного времени, обмен информацией с персональным компьютером, включение и выключение питания адаптеров с датчиками, дисплей и интерфейс связи с компьютером. Дисплей и клавиатура позволяют управлять регистратором и просматривать результаты измерений. Энергонезависимая флэш-память сохраняет результаты регистрации при выключении устройства. Интерфейс связи с компьютером (порт USB)

дает возможность передавать сохраненные данные с устройства на персональный компьютер с помощью специальной программы связи. В дальнейшем эти данные могут храниться на диске персонального компьютера, распечатываться в виде таблиц или графиков.

Структурная схема ЦУ представлена на рис. 8.

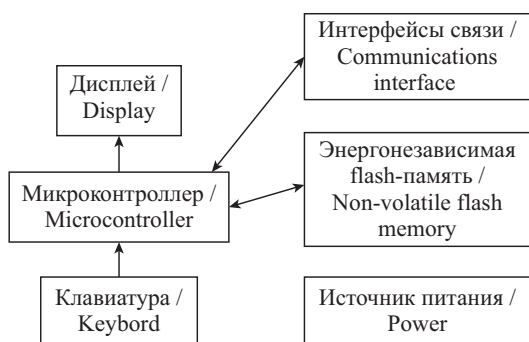


Рис. 8. Структурная схема ЦУ «Терем-4.1»
 Fig. 8. The block diagram of the Central Unit “Terem-4.1”

Внешний вид ЦУ регистратора показан на рис. 9. В корпусе размещены дисплей, печатная плата, клавиатура, батарейный отсек на три аккумулятора типоразмера AA. На торцевой стенке прибора находится разъем для подключения адаптеров, на боковой — USB-разъем для подключения персонального компьютера.



Рис. 9. Внешний вид «Терем-4.1»
 Fig. 9. The appearance of “Terem-4.1”

Внешний вид одной из модификаций 16-канального адаптера показан на рис. 10. В корпусе адаптера размещены светодиод, загорающийся

в момент измерений или мигающий при неисправностях, печатная плата, разъем подключения к ЦУ и клеммная колодка подключения датчиков-термопар с пружинными контактами.

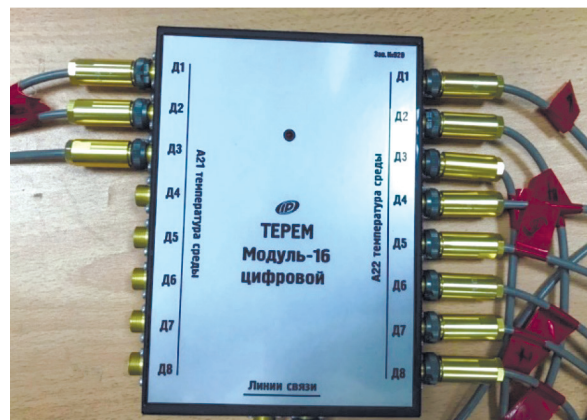


Рис. 10. Внешний вид адаптера «Терем-4.1»
 Fig. 10. The appearance of the adapter “Terem-4.1”

На рис. 11 показаны внешний вид термодатчика, а также защита датчиков от повреждений и их удаленность от источников сильных помех (нельзя допускать наличия силовых проводов и кабелей в непосредственной близости с датчиками, линиями связи и прибором).



Рис. 11. Внешний вид термодатчика
 Fig. 11. The appearance of the thermal sensor

Для замораживания грунта использовалась холодильная сплит-система POLAIR (рис. 12). Технические характеристики приведены ниже.

Технические характеристики сплит-системы POLAIR:

- условие работы при t , °С, окружающего воздуха от 10 до 40 °С;
- относительная влажность воздуха от 80 до 40 %;

- температура во внутреннем объеме от -18 до 10 °С;
- габаритные размеры $415 \times 420 \times 300$;
- рекомендуемая доза заправки хладагента (R404A), г, 560 г.



Рис. 12. Холодильная машина
Fig. 12. Refrigeration machine (cooling unit)

Внешний вид вентилируемой сваи показан на рис. 13. Тело сваи представляет собой металлическую трубку, закрытую с двух сторон, два отверстия в половину меньше диаметра сваи, а также разделительную пластинку внутри сваи, равную шириной диаметру сваи, а длиной составляющую $0,9 l$, где l — длина сваи.



Рис. 13. Вентилируемая свая
Fig. 13. Ventilated pile

На рис. 14 показан внешний вид вентилятора улиткового типа с блоком питания и регулятором мощности и настройки расхода воздуха. Вентилятор обеспечивает необходимую циркуляцию воздуха по телу сваи для теплообмена между грунтовым основанием и телом сваи и нагнетаемым холодным воздухом.

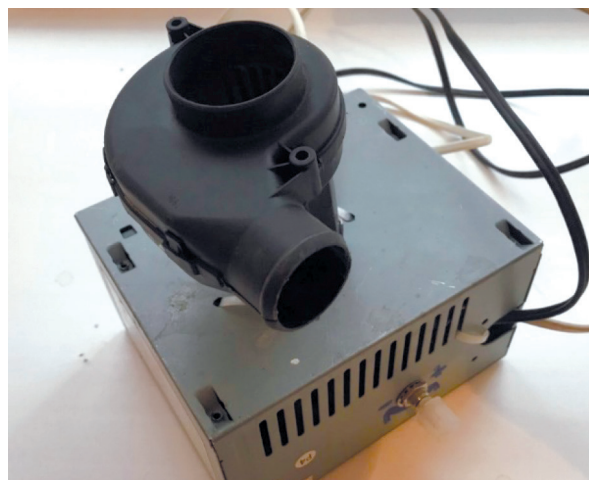


Рис. 14. Вентилятор улиткового типа
Fig. 14. Spiral fan

Порядок проведения лабораторного эксперимента.

В процессе эксперимента по термостабилизации грунта принудительно вентилируемой сваи температура грунта фиксировалась непрерывно автоматически с шагом 25 мин прибором «Терем-4.1». Перед экспериментом калибруется мощность вентилятора с помощью блока питания, устанавливается мощность воздушного потока согласно разделу «Общие положения».

Проведение эксперимента проходило в три этапа:

1. В первые 5 суток происходила стабилизация температур грунта, приближенная к температурам грунтов Ямбургского месторождения согласно отчету по термометрии грунтов. Начальные температуры грунта в холодильные камеры были $T \approx +23,5$ °С, после стабилизации произошло снижение до $T_{surf} = 0$ °С.

2. Второй этап — моделирование «зимнего» периода, в котором температура холодильной камеры устанавливалась равной -17 °С на 14 ч 30 мин согласно масштабному фактору эксперимента. На данном этапе запускается принудительная вентиляция сваи с помощью установленного вентилятора и происходит конвекция холодного воздуха по телу сваи с последующим теплообменом между грунтом и телом сваи. По окончании первого цикла заморозки вентилятор выключается, конвекция прекращается, воздушные отверстия, находящиеся в верхней части сваи, закрываются.

3. На третьем этапе происходит моделирование «летнего» периода, в котором прекращается конвекция воздуха. Температура внутри холодильной камеры устанавливается равной 8 °С на период продолжительностью 7 ч, согласно масштабному фактору эксперимента.

По завершении третьего этапа эксперимента холодильная установка переводится на второй этап

«зимнего» периода и циклы начинают повторяться. Для наблюдения образования мерзлого состояния грунта было проведено три цикла заморозки и три цикла оттаивания, последовательно сменяющие друг друга.

Окончанием эксперимента считался конец третьего «летнего» периода, образование не оттаивающих грунтов ниже слоя сезонного промерзания оттаивания.

После окончания эксперимента по истечении двух суток и растепления верхних слоев грунта производилась выемка и фотофиксация образования мерзлого грунта.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Во время проведения эксперимента фиксировались температуры, по полученным температурам с термопар были построены изотермы, показывающие изменения температуры с ходом эксперимента.

Начальные температуры можно видеть на диаграмме (рис. 15), далее в ходе эксперимента после 4 сут стабилизации температура значительно снизилась (рис. 16).

На рис. 17–22 смоделированы температуры региона исследования в зависимости от сезона.

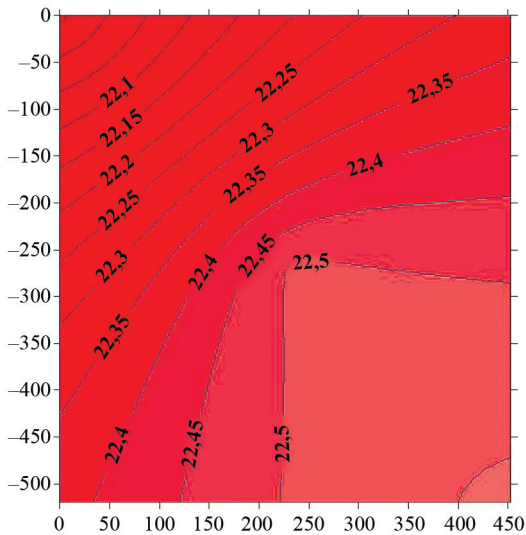


Рис. 15. Начальные температуры
Fig. 15. Initial temperatures

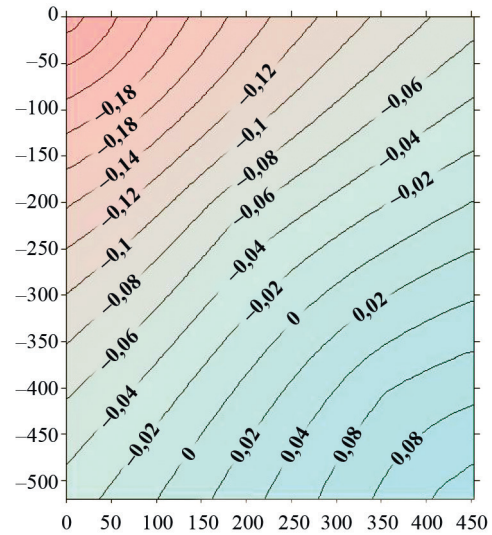


Рис. 16. Температуры после 4 сут стабилизации
Fig. 16. Temperatures following 4 days of stabilization

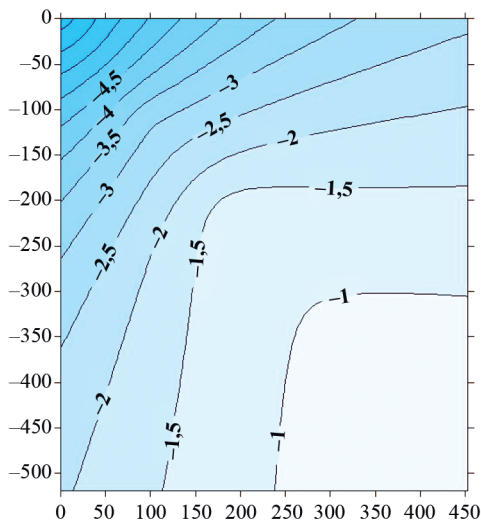


Рис. 17. Температуры на конец первой зимы
Fig. 17. Temperatures at the end of the first winter

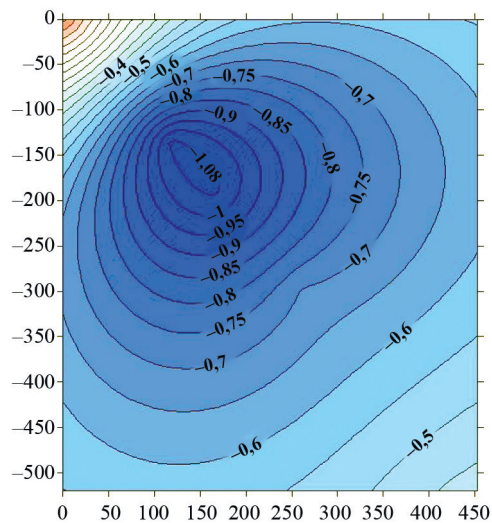


Рис. 18. Температуры на конец первого лета
Fig. 18. Temperatures at the end of the first summer

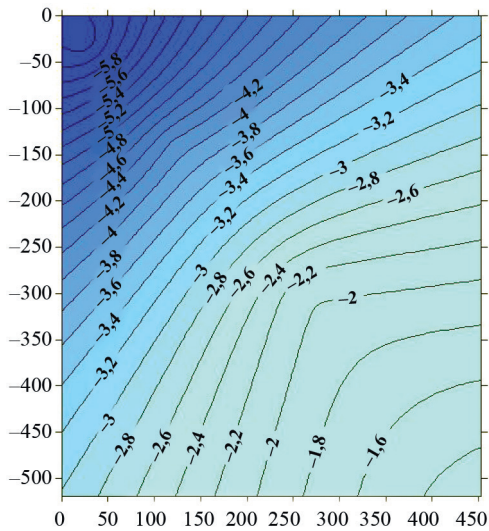


Рис. 19. Температуры на конец второй зимы
Fig. 19. Temperatures at the end of the second winter

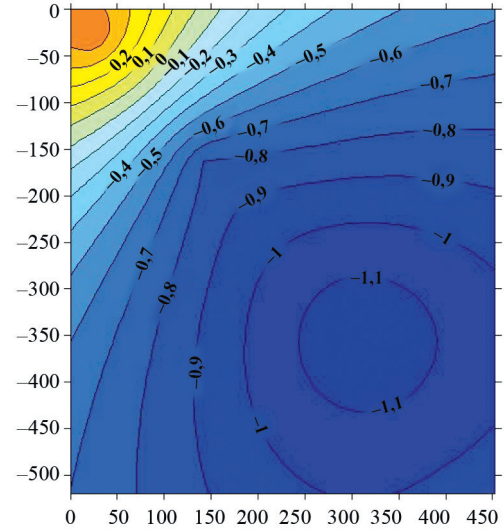


Рис. 20. Температуры на конец второго лета
Fig. 20. Temperatures at the end of the second summer

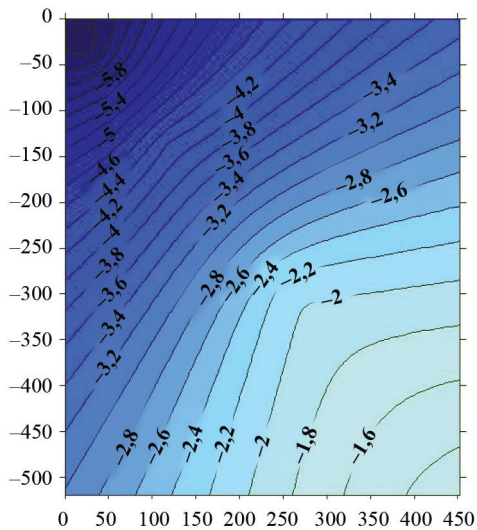


Рис. 21. Температуры на конец третьей зимы
Fig. 21. Temperatures at the end of the third winter

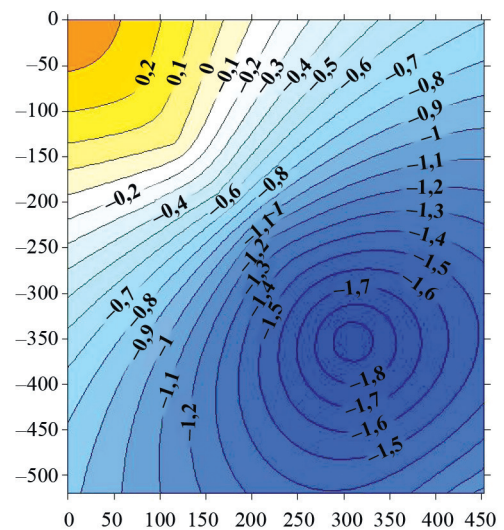


Рис. 22. Температуры на конец третьего лета
Fig. 22. Temperatures at the end of the third summer

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно данным с температурных датчиков принудительная вентилируемая свая показала радиус заморозки на конец второй зимы 10 см, что согласно масштабному фактору эксперимента равно 2 м.

Применение данной сваи возможно как метод термостабилизации и охлаждения грунта. В ходе эксперимента грунты перешли из талого в мерзлое состояние.

В летний период оттайка происходила только в деятельном слое, а отрицательные температуры

сохранялись и сформировали уровень мерзлоты, о чем говорят температурные поля, построенные на летний период, таким образом мерзлое состояние грунта в летний период сохраняется, соответственно, несущая способность сваи не снижается.

Рассматриваемая свая может использоваться на площадочных объектах с доступом к электроэнергии для создания ореола мерзлоты вокруг сваи. Использование на линейных объектах (трубопроводы, воздушные линии электропередачи и пр.) ограничивается экономической нецелесообразностью создания инфраструктуры для энергообеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ложкин А.О., Ходаков П.А. Исследование стабильности геодезических центров в районе вечной мерзлоты // Геодезия и картография. 2012. № 3. С. 21–26.
2. Колосков Г.В., Ибрагимов Э.В., Гамзаев Р.Г. К вопросу выбора оптимальных систем термостабилизации грунтов при строительстве в криолитозоне // Геотехника. 2015. № 6. С. 4–11.
3. Романов В.В., Шубина Д.Д. Методы геофизики при исследовании линейных сооружений в криолитозоне // Научный журнал Российского газового сообщества. 2017. № 2. С. 17–20.
4. Котов П.И., Королева Е.С. Прогноз устойчивости линейных инженерных сооружений при оттаивании мерзлых грунтов // GEONATURE 2018 : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции при поддержке международных организаций EAGE, SEG, AAPG. М. : Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2018. 459 с.
5. Ваганова Н.А., Филимонов М.Ю. Моделирование Эксплуатации инженерных систем в условиях вечной мерзлоты // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: математика, механика, информатика. 2013. № 4. С. 37–42. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21164498>
6. Огороков Н.С., Коркишко А.Н. Прогнозный расчет приточно-охлаждаемых свай на вечномерзлых грунтах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 9. С. 14–18.
7. Абу-Хасан М.С., Егоров В.В., Куправа Л.Р., Чарник Д.Г. Термостабилизация вечномерзлых грунтов при возведении сооружений в северных климатических зонах // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2019. № 4 (1016). С. 40–42.
8. Суриков В.И., Коротков А.А., Мельникова Е.А. Исследование условий эксплуатации устройств термостабилизации грунтов с учетом воздействия технических объектов на многолетнемерзлые грунты // Нефтяное хозяйство. 2017. № 8. С. 116–119. DOI: 10.24887/0028-2448-2017-8-116-119
9. Копорева С.В., Костина Е.В., Антоненко Н.А. Термостабилизация вечномерзлых грунтов // Новые технологии в учебном процессе и производства: мат. XVI межвузовской научн.-техн. конф. 2018. С. 304–308.
10. Жабин В.Ю., Цвинский А.Л. Работа систем термостабилизации грунтов на производственных объектах Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2019. № 1 (109). С. 77–82. DOI: 10.33285/1999-6934-2019-1(109)-77-82
11. Kraev A.N., Skvortsov D.S., Zhaisambaev E.A. The experimental research of area foundations soil behavior on a weak clay bed strengthened with reinforced sand blanket // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Vol. 9. No. 5. Pp. 584–588.
12. Kraev A.N., Vorontsov V.V., Bay V.F. Experimental studies of a reinforced sand blanket in seasonally frozen heaving soils // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Vol. 9. No. 4. Pp. 964–967.
13. Kraev A.N., Skvortsov D.S., Shkileva A.A., Kutuzova M.I. Experimental studies on a sand blanket with contour reinforcement in seasonally frozen heaving soils // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Vol. 12. No. 5. Pp. 8392–8394.
14. Kraev A.N., Bay V.F. The experimental research of foundation behavior on weak clay with reinforced sand blanket with curved floor // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Vol. 12. No. 16. Pp. 6249–6251.
15. Passek V., Tsernant A. Development of a complex of self-cooling bearing systems as a fundamentally new direction in construction on permafrost // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 73. Pp. 05001. DOI: 10.1051/mateconf/20167305001
16. Bakalin V.A., Vetrova V.P. Vegetation-permafrost relationships in the zone of sporadic permafrost distribution in the kamchatka peninsula // Russian Journal of Ecology. 2008. Vol. 39. Issue 5. Pp. 318–326. DOI: 10.1134/s1067413608050032
17. Fortier R., Arenson L.U., Fujun N., Dore G., Varlamov S.P., Zabolotnik S. et al. Engineering test sections in permafrost environment: performance of permafrost protection measures and mitigation techniques to permafrost degradation // Tenth International conference on permafrost. TICOP. Resources and risks of permafrost areas in a changing world Proceedings. 2012. No. 1. Pp. 153–154.
18. Wang T., Zhou G., Wang J., Zhao X., Yin Q., Liu Y. et al. Stochastic analysis model of uncertain temperature characteristics for embankment in warm permafrost regions // Cold Regions Science and Technology. 2015. Vol. 109. Pp. 43–52. DOI: 10.1016/j.coldregions.2014.09.013
19. Titov A., Krylov S. Physical and mathematical modeling approaches for gpr investigation of underground ice in the permafrost zone // Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2015. 2015. DOI: 10.4133/sageep.28-054
20. Drake T.W., Wickland K.P., Striegl R.G., McKnight D.M., Spencer R.G.M. Ancient low-molecular-weight organic acids in permafrost fuel rapid carbon dioxide production upon thaw // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2015. Vol. 112. Issue 45. Pp. 13946–13951. DOI: 10.1073/pnas.1511705112

Поступила в редакцию 21 ноября 2019 г.

Принята в доработанном виде 26 марта 2020 г.

Одобрена для публикации 28 апреля 2020 г.

ОБ АВТОРАХ: **Никита Сергеевич Окоороков** — специалист календарно-сетевого планирования; **НИИП-газпереработка**; 625048, г. Тюмень, ул. 50 лет Октября, д. 14; ok-bk@mail.ru;

Александр Николаевич Коркишко — кандидат технических наук, заведующий, базовая кафедра ПАО «Газпром нефть»; **Тюменский индустриальный университет (ТИУ)**; 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38; alexandr-korkishko@mail.ru;

Анастасия Петровна Коржикова — магистрант, базовая кафедра ПАО «Газпром нефть»; **Тюменский индустриальный университет (ТИУ)**; 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38; korzhikova.ap@mail.ru.

REFERENCES

1. Lozhkin A.O., Khodakov P.A. Study of geodetic centers stability in permafrost area. *Geodesy and Cartography*. 2012; 3: 21-26. (rus.).
2. Koloskov G.V., Ibragimov E.V., Gamzaev R.G. On the problem of choosing optimal systems of soil temperature stabilization for construction in the cryolithozone // *Geotechnics*. 2015; 6: 4-11. (rus.).
3. Romanov V.V., Shubina D.D. Geophysics in the Study of Linear Structures in Permafrost. *Scientific journal of the Russian Gas Community*. 2017; 2:17-20. (rus.).
4. Kotov P.I., Koroleva E.S. Stability forecast of linear engineering structures during thawing of frozen soils. *GEONATURE 2018 : Collection of scientific papers of the International scientific-practical conference with the support of international organizations EAGE, SEG, AAPG*. Moscow, Moscow State University. M.V. Lomonosov, 2018; 459. (rus.).
5. Vaganova N.A., Filimonov M.Yu. Simulation of Engineering Systems in Permafrost. *Bulletin of Novosibirsk State University. Series: Mathematics, Mechanics, Computer Science*. 2013; 4:37-42. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21164498> (rus.).
6. Okorokov N.S., Korkishko A.N. Forecast calculation of supply-cooled piles on the earth frozen soils. *International Journal of Applied and Basic Research*. 2017; 9:14-18. (rus.).
7. AbuHassan M.S., Egorov V.V., Kuprava L.R., Charnik D.G. Thermal stabilization of permafrost soils in the construction of facilities in the Northern climatic zones. *BST: Bulletin of Construction Equipment*. 2019; 4(1016):40-42. (rus.).
8. Surikov V.I., Korotkov A.A., Melnikova E.A. Research of operating conditions for soil thermal stabilization devices taking into account the impact of technical facilities on permafrost soils. *Oil Management*. 2017; 8:116-119. DOI: 10.24887/0028-2448-2017-8-116-119. (rus.).
9. Kopreva S.V., Kostina E.V., Antonenko N.A. Thermal stabilization of permafrost soils. *New Technologies in the Educational Process and Production Materials of the XVI interuniversity scientific and technical conference*. 2018; 304-308. (rus.).
10. Zhabin V.Yu., Zviinsky A.L. The work of soil thermostabilizing systems at production facilities of Urengoy oil and gas condensate fields. *Equipment and Technologies for the Oil and Gas Complex*. 2019; 1(109):77-82. DOI: 10.33285/1999-6934-2019-1(109)-77-82 (rus.).
11. Kraev A.N., Skvortsov D.S., Zhaisambaev E.A. The experimental research of area foundations soil behavior on a weak clay bed strengthened with reinforced sand blanket. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018; 9(5):584-588.
12. Kraev A.N., Vorontsov V.V., Bay V.F. Experimental studies of a reinforced sand blanket in seasonally frozen heaving soils. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018; 9(4):964-967.
13. Kraev A.N., Skvortsov D.S., Shkileva A.A., Kutuzova M.I. Experimental studies on a sand blanket with contour reinforcement in seasonally frozen heaving soils. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017; 12(5):8392-8394.
14. Kraev A.N., Bay V.F. The experimental research of foundation behavior on weak clay with reinforced sand blanket with curved floor. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017; 12(16):6249-6251.
15. Passek V., Tsernant A. Development of a complex of self-cooling bearing systems as a fundamentally new direction in construction on permafrost. *MATEC Web of Conferences*. 2016; 73:05001. DOI: 10.1051/mateconf/20167305001
16. Bakalin V.A., Vetrova V.P. Vegetation-permafrost relationships in the zone of sporadic permafrost distribution in the kamchatka peninsula. *Russian Journal of Ecology*. 2008; 39(5):318-326. DOI: 10.1134/s1067413608050032
17. Fortier R., Arenson L.U., Fujun N., Dore G., Varlamov S.P., Zabolotnik S. et al. Engineering test sections in permafrost environment: performance of permafrost protection measures and mitigation techniques to permafrost degradation. *Tenth International*

conference on permafrost. *TICOP. Resources and risks of permafrost areas in a changing world Proceedings*. 2012; 1:153-154.

18. Wang T., Zhou G., Wang J., Zhao X., Yin Q., Liu Y. et al. Stochastic analysis model of uncertain temperature characteristics for embankment in warm permafrost regions. *Cold Regions Science and Technology*. 2015; 109:43-52. DOI: 10.1016/j.coldregions.2014.09.013

19. Titov A., Krylov S. Physical and mathematical modeling approaches for gpr investigation of un-

derground ice in the permafrost zone. *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2015*. 2015. DOI: 10.4133/sageep.28-054

20. Drake T.W., Wickland K.P., Striegl R.G., McKnight D.M., Spencer R.G.M. Ancient low-molecular-weight organic acids in permafrost fuel rapid carbon dioxide production upon thaw. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2015; 112(45):13946-13951. DOI: 10.1073/pnas.1511705112

Received November 21, 2019.

Adopted in a revised form on March 26, 2020.

Approved for publication April 28, 2020.

B I O N O T E S: **Nikita S. Okorokov** — specialist in calendar and network planning; **NIPIgazpererabotka**; 14 50 years of October st., Tyumen, 625048, Russian Federation; ok-bk@mail.ru;

Alexandr N. Korkishko — candidate of technical sciences, head of the basic department of PJSC Gazprom Neft; **Tyumen Industrial University**; 38 Volodarsky st., Tyumen, 625000, Russian Federation; alexandr-korkishko@mail.ru;

Anastasiya P. Korzhikova — undergraduate, basic Department of PJSC Gazprom Neft; **Tyumen Industrial University**; 38 Volodarsky st., Tyumen, 625000, Russian Federation; korzhikova.ap@mail.ru.

Исследование распределения наночастиц диоксида кремния в воде затворения

Д.А. Немущенко, В.В. Ларичкин, А.П. Онопченко, В.С. Субботин

Новосибирский государственный технический университет (НГТУ); г. Новосибирск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Изучены суспензии наночастиц диоксида кремния в воде. Использование суспензий позволяет наиболее эффективно вводить наноразмерные частицы в шликерные керамические массы и массы на основе бетона. Обзор публикаций показал значительный интерес российских и зарубежных исследователей к технологии модификации материалов различного назначения наночастицами. При этом применяются частицы различной химической природы в зависимости от поставленных задач. Широко применяется метод ультразвукового (УЗ) диспергирования наполнителей в матричном материале, использование поверхностно-активных веществ (ПАВ) дает возможность стабилизировать суспензии и строительные растворы. Диоксид кремния, как один из наиболее дешевых в производстве порошков ультрадисперсного порядка, зарекомендовал себя в качестве активного наполнителя строительных материалов.

Материалы и методы. Для равномерного распределения наночастиц в воде использовался метод УЗ диспергирования. Для снижения повторной агрегации частиц и повышения с течением времени устойчивости суспензии вводился ПАВ. Эффективность распределения наночастиц в суспензии контролировалась турбидиметрическим методом, а размеры твердых частиц определялись с помощью измерения оптической плотности на спектрофотометре.

Результаты. Показана эффективность применения УЗ-метода для распределения наноразмерных частиц в воде. На основе полученных суспензий формовались образцы керамики, при помощи растрового электронного микроскопа с насадкой для выявления химического состава были определены размеры конгломератов наночастиц в матрице. Найдена оптимальная концентрация ПАВ ОП-10 для разрушения конгломератов в суспензии, оценена роль времени УЗ-воздействия на суспензию.

Выводы. Результаты исследования могут быть использованы в технологиях изготовления керамики при модификации материалов наночастицами различной химической природы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ультразвуковое диспергирование, наночастица, диоксид кремния, распределение наночастиц, строительная керамика, шликерная керамика, поверхностно-активное вещество, турбидиметрия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Немущенко Д.А., Ларичкин В.В., Онопченко А.П., Субботин В.С. Исследование распределения наночастиц диоксида кремния в воде затворения // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 5. С. 678–687. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.678-687

A research into the distribution of silicium dioxide nanoparticles in the mixing water

Dmitry A. Nemuschenko, Vladimir V. Larichkin, Anastasiya P. Onipchenko,
Vasilij S. Subbotin

Novosibirsk State Technical University (NSTU); Novosibirsk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The co-authors studied suspensions of silicium dioxide nanoparticles in the water. The application of suspensions helps to most effectively add nanoparticles to slip ceramic mixtures and mixtures that contain concrete. A review of publications has proven that Russian and foreign researchers are willing to learn more about nanoparticles used to modify various materials. Particles having different chemical properties are applied depending on the types of problems to be solved. The method of ultrasonic dispersion of fillers in the matrix material is widely used; surfactants stabilize suspensions and mortars. Silicon dioxide, being one of the cheapest ultra-dispersed powders, has been proven as an active filler designated for building materials.

Materials and methods. A method of ultrasonic dispersion was used to uniformly distribute nanoparticles in the water. A surfactant was added to the suspension to reduce the reaggregation of particles and to rise the stability of suspensions in the course of time. The turbidimetric method was employed to control the nanoparticle distribution efficiency in the suspension, and a spectrophotometer was used to identify the dimensions of solid particles by measuring the optical density.

Results. The co-authors have proven the efficiency of the ultrasonic method in distributing nano-sized particles over the water. The suspensions, developed by the co-authors, were used to mold samples of ceramics; a scanning electron microscope and a nozzle, designated for the identification of chemical compositions, were used to identify dimensions of nanoparticle conglomerates in the matrix. The co-authors identified the concentration of OP-10 surfactant that was optimal for the destruction of conglomerates in the suspension; the impact of the ultrasonic treatment duration was assessed in respect of the suspension.

Conclusions. The research findings can be contributed to ceramic production technologies for versatile nanoparticles to be employed to modify materials.

KEYWORDS: ultrasonic material dispersion, nanoparticle, silicium dioxide, distribution of nanoparticles, structural ceramics, slip ceramics, surfactant, turbidimetry

FOR CITATION: Nemuschenko D.A., Larichkin V.V., Onipchenko A.P., Subbotin V.S. A research into the distribution of silicium dioxide nanoparticles in the mixing water. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(5):678-687. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.678-687 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей задачей строительного материаловедения является повышение эксплуатационных характеристик материалов, а также снижение их стоимости при обеспечении высоких физико-механических свойств. В течение последнего десятилетия многие исследователи предлагают решать задачу улучшения свойств материалов при помощи введения различных по химической природе наноразмерных добавок, в частности волокнистых, либо шарообразных частиц.

В патенте¹ описан метод получения кварцевой керамики с повышенной высокотемпературной прочностью за счет введения в готовую пористую керамическую основу наночастиц α - Al_2O_3 в количестве 1,0–2,5 масс. % за счет пропитки основы водным раствором соли $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, сушки и обработки при температуре 400–600 °С. В результате высокотемпературной обработки происходит полный пиролиз нитрата алюминия с образованием α - Al_2O_3 в виде наночастиц размером 50–150 нм.

В патентной публикации² приведены состав массы и способ получения смеси для производства строительных материалов. Вследствие введения наноразмерного наполнителя повышается прочность и морозостойкость готовых изделий. Масса содержит функциональную добавку — нанопорошок SiO_2 (марка АСИЛ-300) 0,05–2 масс. %. Наноразмерный порошок вводится простым механическим перемешиванием.

В патентном документе³ представлена рецептура строительного материала, содержащая цемент,

¹ Пат. 2458022 РФ, МПК С04В 35/14, В82В 3/00. Наномодифицированная кварцевая керамика с повышенной высокотемпературной прочностью / Бородай Ф.Я., Викулин В.В., Иткин С.М., Ляшенко Л.П., Шкарупа И.Л., Самсонов В.И.; заяв. и патентообл. ОАО «Обнинское научно-производственное предприятие «Технология»». Заявл. № 2011104828/03 09.02.11; опубл. 10.08.12. Бюл. № 22. 7 с.

² Пат. 2430053 РФ, МПК С04В 28/36, С01В 17/00, В82В 1/00, С04В 111/20. Серобетонная смесь и способ ее получения / Мырзин А.П., Софьин В.А.; заяв. и патентообл. Мырзин А.П., Софьин В.А. Заявл. № 2010124994/03 17.06.10; опубл. 27.09.11. 5 с.

³ Пат. 2447036 РФ, МПК С04В 28/02, В82В 3/00, С04В 111/20. Композиция для получения строительных материалов / Кашкина Л.В., Кулагин В.А., Стебелева О.П., Кулагина Л.В.; заяв. и патентообл. ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». Заявл. № 2010144287/03 28.10.10; опубл. 10.04.12. Бюл. № 10. 9 с.

песок и кавитационно-активированный углеродсодержащий материал (КАУМ) в количестве 0,024–0,64 масс. %. КАУМ представляет собой смесь углеродных наноструктур, в том числе трубчатых, полученную путем гидродинамической обработки водной суспензии древесной сажи.

Метод ультразвукового (УЗ) диспергирования также широко применяется исследователями при введении ультрадисперсных частиц в матричный материал.

Например, распределение углеродных нанотрубок (УНТ) в лакокрасочном материале изучалось в работе [1]. Углеродные нанотрубки в концентрации 0,05 масс. % обрабатывались в УЗ-ванне в течение 15 мин совместно с растворителем, применяющимся для конкретного типа лакокрасочного материала. Отмечается более интенсивное диспергирование УНТ в матрице, увеличение адгезии пленки к подложке. УНТ также нашли применение при модификации эпоксидных систем [2]. УНТ смешивали с ацетоном и обрабатывали ультразвуком в ванне с погружным рожковым диспергатором УЗГ 13-0.1/22 в течение 5 мин, одновременно смесь гомогенизировалась на магнитной мешалке. Полученную суспензию вливали в эпоксидную смолу. Авторами отмечается значительное увеличение модуля упругости образцов композита, увеличение разрушающего напряжения при растяжении в зависимости от концентраций УНТ.

В исследованиях [3, 4] УЗ-поля эффективно использовались для распределения наноразмерных частиц в эпоксидной смоле и отвердителе, модификацию проводили углеродными нанотрубками, наноалмазами, специально подготовленным Na^+ -монтмориллонитом⁴. УНТ использовались для армирования корундовых керамических материалов [5]. Пучки УНТ диспергировались в ультразвуковой зондовой установке УЗДН-2Т при частоте 44 кГц. При этом применяли различные среды для диспергирования: водные растворы этилового, изопропилового и поливинилового спиртов, водный раствор диметилформамида. Увеличение прочности полимеров, модифицированных наночастицами, связывают, прежде всего, с торможением распространения микротрещин при разрушении [6]. При равномер-

⁴ Тренисова А.Л., Аношкин И.В., Горбунова И.Ю., Кербер М.Л., Плотникова Е.П. Изучение свойств нанокompозитов на основе эпоксидного олигомера и различных наполнителей // Успехи в химии и химической технологии. 2007. Т. XXI. № 6. С. 9–13.

ном распределении наночастиц, разрушении агломератов в полимере можно добиться сохранения оптических свойств [7].

При помощи УЗ-полей авторы работы [8] распределяли диоксид кремния (нано-SiO₂) в синтетическом масле, варьируя содержание различных поверхностно-активных веществ (ПАВ), в результате были улучшены теплообменные свойства масла. В исследовании [9] ультразвук применяли для диспергирования наночастиц в органических растворителях (хлороформ, ацетон, изопропанол, циклопентанон), в работе [10] устраняли агломерацию наночастиц диоксида титана УЗ-полем в присутствии диспергаторов — полиакриловой кислоты и полиметакрилата аммония. Изменение гранулометрического состава исходных нанопорошков оксида алюминия и агрегатов частиц в водных суспензиях, получаемых воздействием ультразвука в присутствии цитрата натрия, при разных режимах обработки подробно анализировалось авторами [11].

Наноразмерный порошок нано-SiO₂, который в данной работе используется в качестве функциональной добавки, нашел широкое применение в технологиях получения строительных материалов. Введение порошка нано-SiO₂ улучшает долговечность и прочность бетона при сжатии [12, 13] и растяжении [14, 15], снижает водопоглощение [15], увеличивает сопротивление просачиванию воды⁵ и способствует контролю вымывания кальция⁶. Кроме того, нано-SiO₂ ускоряет реакции гидратации как кальциевых силикатов⁷, так и цементно-зольного раствора благодаря большой поверхности наночастиц с высокой реакционной способностью⁸. Было обнаружено, что для увеличения прочности образцов бетона частицы наноразмерного порядка эффективнее, чем кварцевая пыль⁹. За 28 суток

10%-ная смесь нано-SiO₂ с дисперсными компонентами увеличивает прочность при сжатии цементных растворов¹⁰ на 26 %, а 15%-ная смесь кварцевой пыли — всего на 10 %. Даже малое количество (0,25 %) добавки нано-SiO₂ увеличивает прочность при сжатии на 10 % на 28 суток, а прочность на изгиб — на 25 %¹¹. Нано-SiO₂ также работает как наполнитель для улучшения микроструктуры¹². В исследовании [16] показано влияние распыления суспензии нанопорошков на поверхность бетонных образцов, отмечается увеличение микротвердости и снижение истираемости и водопоглощения.

Еще в 2008 г. упоминалось о внедренных технологиях «нанобетонов» различного назначения¹³. Отличительной особенностью данных бетонов является наличие в составе функциональной добавки — модифицированной базальтовой микрофибры (МБМ), вводимой в бетон в зависимости от его назначения в количестве 1,5–20 % от массы вяжущего (цемент, гипс, кислотнo-зольные смеси и т.п.). Добавка МБМ включает наноразмерную добавку астралена (многослойная полиэдральная наночастица) в количестве 0,0001–0,001 % от массы МБМ.

Обзор композитов, полученных с применением технологий введения наночастиц различной химической природы с ориентацией на аэрокосмические приложения, сделан в работе [17].

На кафедре инженерных проблем экологии Новосибирского государственного технического университета ведутся исследования по разработке рецептур и технологий получения строительных материалов на основе промышленных и коммунальных отходов. Данная работа направлена на получение керамических материалов строительного назначения (рядовой и облицовочный кирпич, керамическая настенная и напольная плитка) с использованием в качестве основного компонента золошлаковых отходов угольных электростанций г. Новосибирска, а также стекольных отходов, об-

⁵ Ji T. Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO₂ // *Cem. Concr. Res.* 2005. No. 35(10). Pp. 1943–1947.

⁶ Gaitero J.J., Campillo I., Guerrero A. Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles // *Cem Concr Res.* 2008. No. 38(8–9). Pp. 1112–1118. DOI: 10.1016/j.cemconres.2008.03.021

⁷ Bjornstrom J., Martinelli A., Matic A., Borjesson L., Panas I. Accelerating effects of colloidal nano-silica for beneficial calcium-silicate-hydrate formation in cement // *Chemical Physics Letters.* 2004. No. 392(1–3). Pp. 242–248. DOI: 10.1016/j.cplett.2004.05.071

⁸ Lin K.L., Chang W.C., Lin D.F., Luo H.L., Tsai M.C. Effects of nano-SiO₂ and different ash particle sizes on sludge ash-cement mortar // *J. Environ Manage.* 2008. No. 88(4). Pp. 708–714. DOI: 10.1016/j.jenvman.2007.03.036

⁹ Qing Y., Zenan Z., Deyu K., Rongshen C. Influence of nano-SiO₂ addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume // *Construction and Building Materials.* 2007. No. 21(3). Pp. 539–545. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2005.09.001

¹⁰ Li H., Xiao H.-G., Yuan J., Ou J. Microstructure of cement mortar with nano-particles // *Composites Part B Engineering.* 2004. No. 35(2). Pp. 185–189. DOI: 10.1016/S1359-8368(03)00052-0

¹¹ Sobolev K., Flores I., Torres-Martinez L.M., Valdez P.L., Zarazua E., Cuellar E.L. Engineering of SiO₂ nanoparticles for optimal performance in nano cementbased materials // *Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3rd international symposium on nanotechnology in construction).* Prague, Czech Republic. 2009. Pp. 139–148. DOI: 10.1007/978-3-642-00980-8_18

¹² Jo B.-W., Kim C.-H., Tae G.-H., Park J.-B. Characteristics of cement mortar with nano-SiO₂ particles // *Construction and Building Materials.* 2007. No. 21(6). Pp. 1351–1355. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2005.12.020

¹³ Патрикеев Л. Нанобетоны // *Наноиндустрия.* 2008. № 2. С. 14–15.

разующихся при осуществлении раздельного сбора твердых коммунальных отходов. Использование отходов позволяет добиться снижения конечной стоимости строительных материалов, а также снизить нагрузку на окружающую природную среду. Для повышения эксплуатационных свойств получаемых строительных материалов предлагается вводить в качестве функциональной добавки наноразмерные частицы диоксида кремния. При этом возникают проблемы, связанные с агломерацией первичных частиц нанопорошка в результате действия, прежде всего, Ван-дер-Ваальсовых сил, на что также указывали другие исследователи [6, 10, 11, 18].

Предварительные эксперименты показали эффективность применения наноразмерной добавки в керамической технологии [19], но, как указывают некоторые исследователи, эффект от введения порошков в матричный материал при их максимально равномерном распределении может проявляться в многократном увеличении прочности образцов, морозостойкости и других свойств.

В данной работе ставилась задача определения оптимальных параметров режима ультразвуковой обработки водной суспензии, содержащей наноразмерные частицы диоксида кремния. В дальнейшем с использованием полученных суспензий готовились шликерные керамические массы и определялись их свойства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве нанодобавки в работе использовался наноразмерный порошок nano-SiO_2 , полученный на базе Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН и Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН на ускорителе электронов по способу¹⁴. Средний размер первичных частиц составлял ~ 22 нм, удельная поверхность ~ 123 м²/г. Во всех экспериментах наноразмерная добавка вводилась в концентрации 0,5 масс. % как наиболее оптимальная (см. [19]).

Для равномерного распределения наночастиц в водных суспензиях использовался метод УЗ диспергирования в ультразвуковой ванне «Град 5-35» при частоте поля 35 кГц и мощности 55 Вт.

С целью более эффективного распределения наночастиц за счет снижения повторной агрегации

частиц, а также для повышения устойчивости суспензий с течением времени применяли ПАВ марки ОП-10. Данное вещество является продуктом обработки смеси моно- и диалкилфенолов окисью этилена и относится к водорастворимым ПАВ неионогенного типа. ОП-10 применяется в технологиях строительных материалов, в частности, для повышения диспергируемости наполнителей лакокрасочных материалов, повышения устойчивости суспензий связующих и пр.

Эффективность распределения наночастиц в суспензии контролировалась турбидиметрическим методом прибором Турбидиметр Hanna HI-93703, калиброванным по формазину. Рабочая длина волны — 890 нм. Для оценки размеров твердых частиц суспензии проводились измерения оптической плотности на спектрофотометре Unicо 1200 в диапазоне длин волн от 400 до 890 нм.

Водные суспензии готовились поэтапно растворением ПАВ в воде с последующим добавлением нанодобавки в концентрации 0,5 масс. %, после чего суспензия обрабатывалась в УЗ-ванне. В экспериментах варьировалась концентрация ПАВ, время обработки в УЗ-поле, а также контролировалась температура суспензии и pH. Подготовленные суспензии анализировались турбидиметрическим методом сразу (экспозиция 0 ч) и через 24 ч (экспозиция 24 ч). Также, используя следствия из закона Бугера — Ламберта — Бера для турбидиметрии, на основе спектрофотометрических данных оценивались размеры твердых частиц суспензии.

Для подтверждения возможности применения данного способа приготовления суспензии в керамической технологии формовались образцы керамики в форме таблеток. При этом матричным материалом являлся химически чистый карбонат кальция (CaCO_3). Таблетки формовались по технологии полусухого прессования с использованием указанных выше водных суспензий наночастиц и связующего.

Высушенные образцы покрывались слоем проводящего материала (медь), поверхность образцов анализировалась на растровом электронном микроскопе Zeiss EVO 50 XVP с насадкой для определения химического состава присутствующих включений. При проведении микроскопии выделялись частицы SiO_2 в матричном материале и оценивался их средний размер.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты турбидиметрических исследований полученных суспензий обобщены в виде диаграмм на рис. 1 и 2. Для контроля растворимости ПАВ предварительно проводилась оценка мутности водных растворов ПАВ при их различной концен-

¹⁴ Пат. 2067077 РФ, МПК6 С01В 33/88. Способ получения ультрадисперсной двуокиси кремния, устройство для его осуществления и ультрадисперсная двуокись кремния / Лукашов В.П., Бардаханов С.П., Салимов Р.А., Корчагин А.И., Фадеев С.Н., Лаврухин А.В.; заяв.: Лукашов В.П., Бардаханов С.П., Салимов Р.А., Корчагин А.И., Фадеев С.Н., Лаврухин А.В.; патентообл. Бардаханов С.П. Заявл. № 94002568/26; заявл. 26.01.94; опубл. 27.09.96. 6 с.

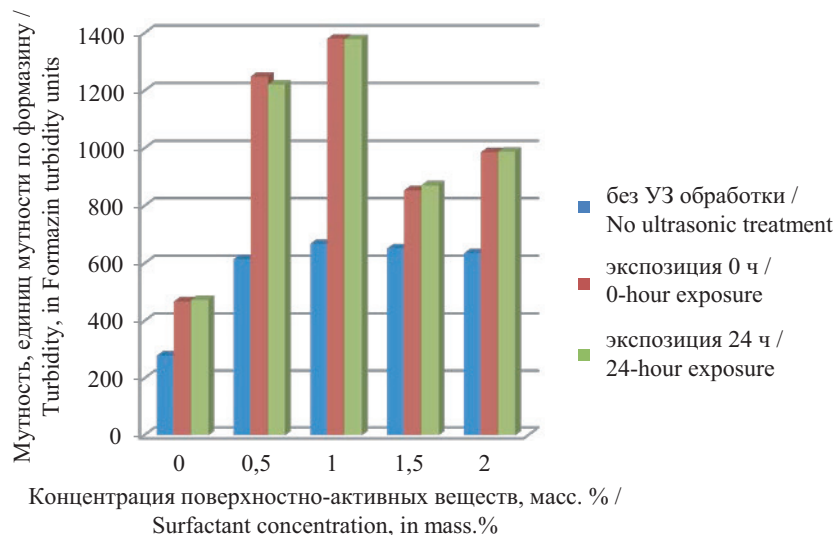


Рис. 1. Мутность суспензий наночастиц SiO₂ в воде при различной концентрации ПАВ

Fig. 1. Turbidity of SiO₂ nanoparticle suspensions driven by different surfactant concentrations

трации. Установлено, что мутность растворов находится в пределах 10 ЕМФ, что не превышает погрешности измерения данным методом.

При увеличении концентрации ПАВ в суспензии (рис. 1) наблюдается увеличение мутности, максимум фиксируется при содержании ПАВ 1 масс. %, дальнейшее увеличение количества ПАВ не дает положительного результата. При этом рост мутности суспензии отмечается даже без УЗ-обработки (1-й ряд). В присутствии ПАВ и УЗ-воздействия мутность суспензии возрастает скачкообразно (см. 0,5 масс. %). Во всех случаях происходит незначительное снижение мутности суспензии через

24 ч (экспозиция 24 ч), даже при отсутствии ПАВ (см. 0 масс. %), т.е. стабильные суспензии можно получать воздействием УЗ-поля, при этом ПАВ не оказывает положительного влияния на стабильность.

Ультразвуковое диспергирование является весьма эффективным для распределения шарообразных наночастиц в водной суспензии. Даже в отсутствии ПАВ при воздействии ультразвука мутность увеличивается в 1,7 раза (рис. 1, 0 масс. %). В дальнейшем, при концентрации ПАВ 0,5–1 масс. %, мутность суспензии при УЗ-воздействии возрастает более чем в 2 раза.

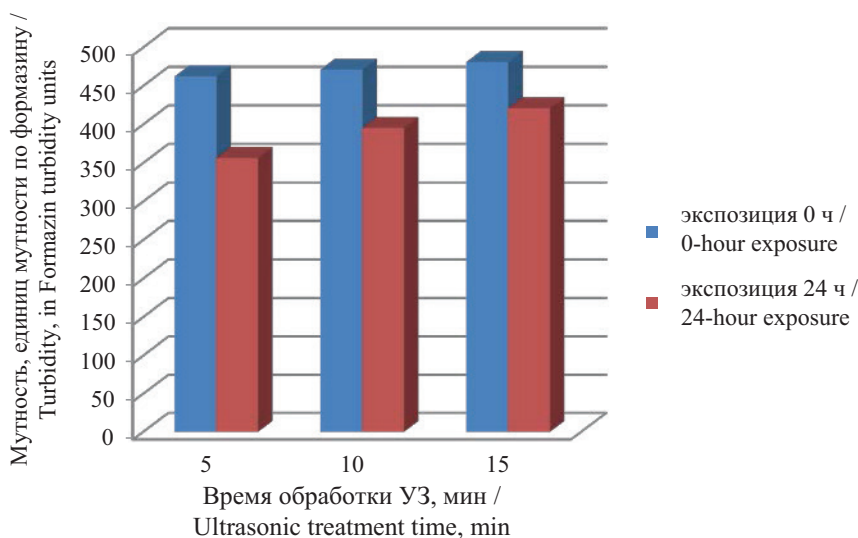


Рис. 2. Влияние времени ультразвуковой обработки на мутность суспензии

Fig. 2. The effect of the duration of the ultrasonic treatment on suspension turbidity

Как видно на рис. 2 (экспозиция 0 ч), влияние времени УЗ-обработки суспензии на мутность и эффективность распределения наночастиц незначительное. При этом стабильность суспензии при более продолжительном воздействии возрастает (экспозиция 24 ч). Дальнейшее увеличение времени обработки приводит к значительному разогреву суспензии, что может привести к изменению свойств ПАВ и другим нежелательным процессам, в случае применения предлагаемого метода в технологии изготовления керамики.

На изображении с электронного микроскопа видно, что частицы диоксида кремния присутствуют в образце, полученном с помощью УЗ-воздействия, в виде конгломератов размером порядка 40 мкм (рис. 3, *b*, частицы диоксида кремния подсвечены синим цветом). В образце, полученном распределением частиц в керамической массе с использованием лопастной мешалки (см. рис. 3, *c, d*), конгломе-

раты наночастиц имеют размеры порядка 200 мкм (подсвечены зеленым цветом). На обзорных микрофотографиях с определением химического состава (увеличение 300–400 крат) можно наблюдать значительно более равномерное распределение конгломератов частиц в матричном материале при использовании ультразвукового метода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для получения дисперсий наночастиц диоксида кремния в воде затворения наиболее оптимальной является концентрация ПАВ, равная 1 масс. %. Присутствие ПАВ ОП-10 в такой концентрации позволяет увеличить эффективность распределения наночастиц почти в 2,5 раза, даже без использования УЗ-воздействия. При этом ПАВ не оказывает существенного влияния на стабильность суспензии в течение 24 ч.

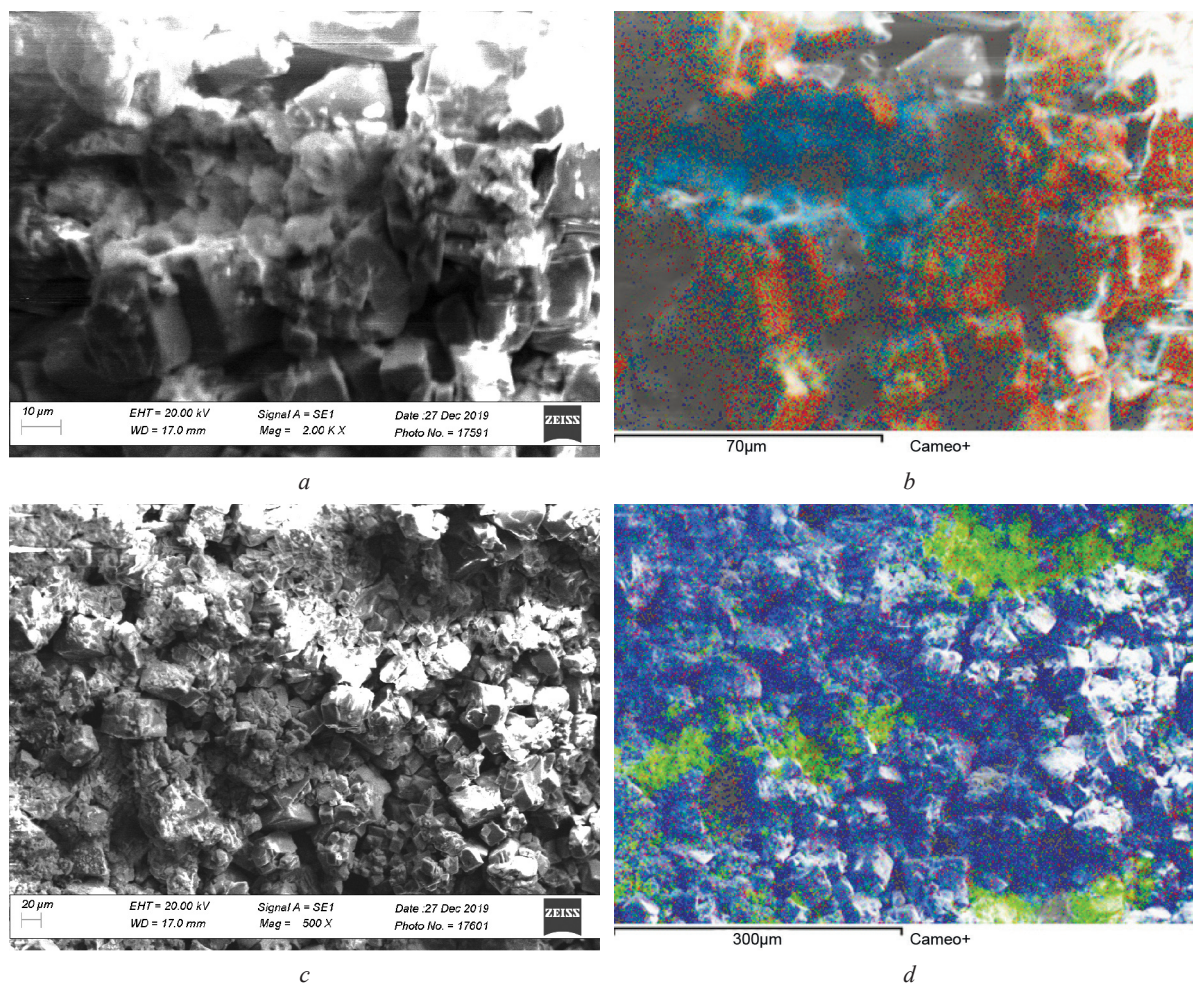


Рис. 3. Микрофотографии образцов: *a, b* — структура и химический состав образца, полученного с использованием УЗ-воздействия; *c, d* — структура и химический состав образца, полученного с использованием лопастной мешалки

Fig. 3. Microphotographs of samples: *a, b* — structure and chemical composition of the sample obtained using ultrasonic treatment; *c, d* — structure and chemical composition of the sample obtained using a paddle-type mixer

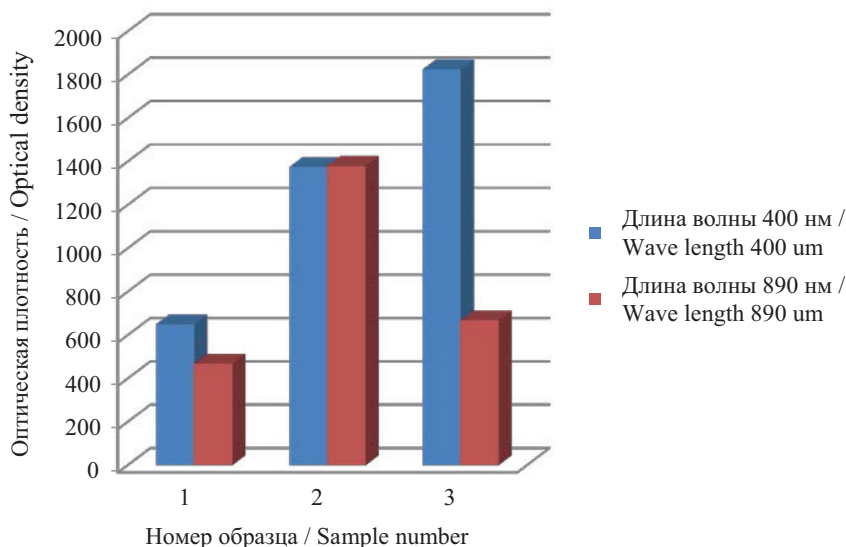


Рис. 4. Оптическая плотность суспензий наночастиц в воде при граничных значениях длин волн монохроматического излучения: 1 — суспензия наночастиц с обработкой УЗ; 2 — суспензия наночастиц с обработкой УЗ и добавкой ПАВ; 3 — суспензия наночастиц без УЗ-воздействия

Fig. 4. The optical density of nanoparticle suspensions in the water in case of extreme lengths of monochromatic emission waves: 1 — nanoparticle suspension exposed to ultrasonic treatment; 2 — nanoparticle suspension exposed to ultrasonic treatment and surfactants; 3 — nanoparticle suspension without ultrasonic exposure

Увеличение времени обработки суспензии УЗ-полем незначительно влияет на разрушение конгломератов частиц в рамках данного эксперимента, эффект проявляется уже при минимальном времени воздействия УЗ (5 мин). При этом в случае применения метода в строительной технологии при производстве керамического шликера с нанодобавками потребуется большее время обработки и более высокая интенсивность УЗ-поля.

Спектрофотометрические исследования полученных суспензий при варьировании длин волн монохроматического излучения показали значительную эффективность применения УЗ-воздействия (см. рис. 4). Так, при воздействии УЗ-поля и добавлении ПАВ в суспензию оптическая плотность при разных длинах волн практически не меняется, что говорит о незначительных размерах наночастиц относительно длины волны излучения. Оптическая плотность суспензии, полученной перемешиванием без воздействия УЗ-поля (рис. 4, образец 3), при

длине волны 400 нм больше в 2,7 раза аналогичного значения при 890 нм, что указывает на размеры наночастиц, сопоставимые с диапазоном длин волн падающего излучения.

Данный способ введения наноразмерных частиц применим в керамической технологии. Однако стоит обратить внимание, что распределить агрегированные наночастицы SiO₂ до первичных частиц все равно не удастся, на что также указывали исследователи [14]. Тем не менее следует к этому стремиться, возможно, за счет использования других методов распределения. В дальнейшем планируется подготовить серии образцов строительной керамики на основе твердых отходов с использованием указанной выше технологии приготовления суспензии. При этом введение суспензии должно осуществляться в подвижную шликерную массу, которая затем должна высушиваться до оптимальной для формования керамических изделий влажности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николайчик А.В., Прокопчук Н.Р., Овчинников О.И. Выбор способа введения углеродных нанодобавок в непигментированные лакокрасочные материалы // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2010. Т. 1. № 4. С. 135–138.
2. Рябов С.А., Захарычев Е.А., Семчиков Ю.Д. Исследование влияния времени функционализации углеродных нанотрубок на физико-механические свойства полимерных композитов на их основе // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2013. № 2–1. С. 71–74.

3. Брусенцева Т.А., Филиппов А.А., Фомин В.М. Композиционные материалы на основе эпоксидной смолы и наночастиц // Известия Алтайского государственного университета. 2014. № 1–1 (81). С. 25–27. DOI: 10.14258/izvasu(2014)1.1-04
4. Ma X., Peng C., Zhou D., Wu Z., Li S., Wang J. *et al.* Synthesis and mechanical properties of the epoxy resin composites filled with sol-gel derived ZrO₂ nanoparticles // Journal of Sol-Gel Science and Technology. 2018. Vol. 88. Issue 2. Pp. 442–453. DOI: 10.1007/s10971-018-4827-3
5. Федосова Н.А., Файков П.П., Зараменских К.С., Попова Н.А., Жариков Е.В., Кольцова Э.М. Разработка дисперсионной среды на основе углеродных нанотрубок для армирования керамических материалов // Успехи в химии и химической технологии. 2012. Т. 26. № 1 (130). С. 61–65.
6. Kockmann A., Porsiel J.C., Saadat R., Garnweitner G. Impact of nanoparticle surface modification on the mechanical properties of polystyrene-based nanocomposites // RSC Advances. 2018. Vol. 8. Issue 20. Pp. 11109–11118. DOI: 10.1039/c8ra00052b
7. Itoh T., Uchida T., Izu N., Shin W. Effect of Core-shell Ceria/Poly (Vinylpyrrolidone) (PVP) Nanoparticles Incorporated in Polymer Films and Their Optical Properties (2): Increasing the Refractive Index // Materials. 2017. Vol. 10. Issue 7. P. 710. DOI: 10.3390/ma10070710
8. Timofeeva E.V., Moravek M.R., Singh D. Improving the heat transfer efficiency of synthetic oil with silica nanoparticles // Journal of Colloid and Interface Science. 2011. Vol. 364. Issue 1. Pp. 71–79. DOI: 10.1016/j.jcis.2011.08.004
9. Naderizadeh S., Athanassiou A., Bayer I.S. Interfacing superhydrophobic silica nanoparticle films with graphene and thermoplastic polyurethane for wear/abrasion resistance // Journal of Colloid and Interface Science. 2018. Vol. 519. Pp. 285–295. DOI: 10.1016/j.jcis.2018.02.065
10. Othman S.H., Rashid S.A., Mohd Ghazi T.I., Abdullah N. Dispersion and Stabilization of Photocatalytic TiO₂ Nanoparticles in Aqueous Suspension for Coatings Applications // Journal of Nanomaterials. 2012. Vol. 2012. Pp. 1–10. DOI: 10.1155/2012/718214
11. Kalinina E.G., Efimov A.A., Safronov A.P., Ivanov V.V., Beketov I.V. Preparation of Alumina Nanoparticle Suspensions with Narrow Particle Size Distribution // Nanotechnologies in Russia. 2013. Vol. 8. Issue 7–8. Pp. 511–517. DOI: 10.1134/S1995078013040058
12. Sobolev K., Ferrada Gutierrez M. How nanotechnology can change the concrete world // Progress in Nanotechnology. 2014. Pp. 113–116. DOI: 10.1002/9780470588260.ch16
13. Niewiadomski P., Hoła J., Ćwirzeń A. Study on properties of self-compacting concrete modified with nanoparticles // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2018. Vol. 18. Issue 3. Pp. 877–886. DOI: 10.1016/j.acme.2018.01.006
14. Dolatabad Y.A., Kamgar R., Nezhad I.G. Rheological and Mechanical Properties, Acid Resistance and Water Penetrability of Lightweight Self-Compacting Concrete Containing Nano-SiO₂, Nano-TiO₂ and Nano-Al₂O₃ // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. 2019. DOI: 10.1007/s40996-019-00328-1
15. Faez A., Sayari A., Manie S. Mechanical and Rheological Properties of Self-Compacting Concrete Containing Al₂O₃ Nanoparticles and Silica Fume // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. 2020. DOI: 10.1007/s40996-019-00339-y
16. Shirzadi Javid A.A., Ghoddousi P., Zareechian M., Habibnejad Korayem A. Effects of Spraying Various Nanoparticles at Early Ages on Improving Surface Characteristics of Concrete Pavements // International Journal of Civil Engineering. 2019. Vol. 17. Issue 9. Pp. 1455–1468. DOI: 10.1007/s40999-019-00407-4
17. Rathod V.T., Kumar J.S., Jain A. Polymer and ceramic nanocomposites for aerospace applications // Applied Nanoscience. 2017. Vol. 7. Issue 8. Pp. 519–548. DOI: 10.1007/s13204-017-0592-9
18. Гатауллин А.Р., Французова М.С., Богданова С.А., Галяметдинов Ю.Г. Диспергирование одностенных углеродных нанотрубок и фуллеренов C60 в воде и в водных растворах ПАВ // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 10. С. 54–57.
19. Ларичкин В.В., Немущенко Д.А., Кальневус В.А., Куницына Е.А., Леготин А.В., Слесаренко Р.А. Исследование влияния добавки нанопорошка SiO₂ на физико-механические свойства золокерамики // Перспективные материалы. 2014. № 11. С. 56–62.

Поступила в редакцию 16 марта 2020 г.

Принята в доработанном виде 7 апреля 2020 г.

Одобрена для публикации 29 апреля 2020 г.

ОБ АВТОРАХ: Дмитрий Андреевич Немущенко — старший преподаватель кафедры инженерных проблем экологии; Новосибирский государственный технический университет (НГТУ); 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, д. 20; РИНЦ ID: 622346; nemuschenko@corp.nstu.ru;

Владимир Викторович Ларичкин — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерных проблем экологии; **Новосибирский государственный технический университет (НГТУ)**; 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, д. 20; РИНЦ ID: 108491, Scopus: 6508047294, ResearcherID: I-9967-2016; larichkin@corp.nstu.ru;

Анастасия Павловна Онипченко — студентка, кафедра инженерных проблем экологии; **Новосибирский государственный технический университет (НГТУ)**; 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, д. 20; na.oni@yandex.ru;

Василий Сергеевич Субботин — студент, кафедра инженерных проблем экологии; **Новосибирский государственный технический университет (НГТУ)**; 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, д. 20; recrut.wot@yandex.ru.

REFERENCES

1. Nikolajchik A.V., Prokopchuk N.R., Ovchinnikov O.I. The choice of the method of introducing carbon nanoparticles into unpigmented paints and varnishes. *Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical Technologies, Biotechnology, Geoecology*. 2010; 1(4):135-138. (rus.).
2. Ryabov S.A., Zakharychev E.A., Semchikov Yu.D. Investigation of the influence of functionalization time of carbon nanotubes on physical and mechanical properties of polymer composites based on them. *Bulletin of the Lobachevsky University of Nizhny Novgorod*. 2013; 2-1:71-74. (rus.).
3. Brusentseva T.A., Filippov A.A., Fomin V.M. Composite Materials Based on Epoxy Resin and Nanoparticles. *Bulletin of Altai State University*. 2014; 1-1(81):25-27. DOI: 10.14258/izvasu(2014)1.1-04 (rus.).
4. Ma X., Peng C., Zhou D., Wu Z., Li S., Wang J. et al. Synthesis and mechanical properties of the epoxy resin composites filled with sol-gel derived ZrO₂ nanoparticles. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 2018; 88(2):442-453. DOI: 10.1007/s10971-018-4827-3
5. Fedosova N.A., Fajkov P.P., Zaramenskih K.S., Popova N.A., Zharikov E.V., Kol'cova E.M. Development of a dispersion medium based on carbon nanotubes for reinforcing ceramic materials. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*. 2012; 26(1):(130):61-65. (rus.).
6. Kockmann A., Porsiel J.C., Saadat R., Garnweitner G. Impact of nanoparticle surface modification on the mechanical properties of polystyrene-based nanocomposites. *RSC Advances*. 2018; 8(20):11109-11118. DOI: 10.1039/c8ra00052b
7. Itoh T., Uchida T., Izu N., Shin W. Effect of Core-shell Ceria/Poly(Vinylpyrrolidone) (PVP) Nanoparticles Incorporated in Polymer Films and Their Optical Properties (2): Increasing the Refractive Index. *Materials*. 2017; 10(7):710. DOI: 10.3390/ma10070710
8. Timofeeva E.V., Moravek M.R., Singh D. Improving the heat transfer efficiency of synthetic oil with silica nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2011; 364(1):71-79. DOI: 10.1016/j.jcis.2011.08.004
9. Naderizadeh S., Athanassiou A., Bayer I.S. Interfacing superhydrophobic silica nanoparticle films with graphene and thermoplastic polyurethane for wear/abrasion resistance. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2018; 519:285-295. DOI: 10.1016/j.jcis.2018.02.065
10. Othman S.H., Rashid S.A., Mohd Ghazi T.I., Abdullah N. Dispersion and Stabilization of Photocatalytic TiO₂ Nanoparticles in Aqueous Suspension for Coatings Applications. *Journal of Nanomaterials*. 2012; 2012:1-10. DOI: 10.1155/2012/718214
11. Kalinina E.G., Efimov A.A., Safronov A.P., Ivanov V.V., Beketov I.V. Preparation of Alumina Nanoparticle Suspensions with Narrow Particle Size Distribution. *Nanotechnologies in Russia*. 2013; 8(7-8):511-517. DOI: 10.1134/S1995078013040058
12. Sobolev K., Ferrada Gutierrez M. How nanotechnology can change the concrete world. *Progress in Nanotechnology*. 2014; 113-116. DOI: 10.1002/9780470588260.ch16
13. Niewiadomski P., Hoła J., Ćwirzeń A. Study on properties of self-compacting concrete modified with nanoparticles. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2018; 18(3):877-886. DOI: 10.1016/j.acme.2018.01.006
14. Dolatabad Y.A., Kamgar R., Nezađ I.G. Rheological and Mechanical Properties, Acid Resistance and Water Penetrability of Lightweight Self-Compacting Concrete Containing Nano-SiO₂, Nano-TiO₂ and Nano-Al₂O₃. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. 2019. DOI: 10.1007/s40996-019-00328-1
15. Faez A., Sayari A., Manie S. Mechanical and Rheological Properties of Self-Compacting Concrete Containing Al₂O₃ Nanoparticles and Silica Fume. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. 2020. DOI: 10.1007/s40996-019-00339-y
16. Shirzadi Javid A.A., Ghoddousi P., Zareechian M., Habibnejad Korayem A. Effects of Spraying Various Nanoparticles at Early Ages on Improving Surface Characteristics of Concrete Pavements. *International Journal of Civil Engineering*. 2019; 17(9):1455-1468. DOI: 10.1007/s40999-019-00407-4

17. Rathod V.T., Kumar J.S., Jain A. Polymer and ceramic nanocomposites for aerospace applications. *Applied Nanoscience*. 2017; 7(8):519-548. DOI: 10.1007/s13204-017-0592-9

18. Gataullin A.R., Francuzova M.S., Bogdanova S.A., Galyametdinov Yu.G. Dispersion of single-wall carbon nanotubes and fullerenes C60 in water and in

aqueous surfactant solutions. *Herald of Kazan Technological University*. 2011; 10:54-57. (rus.).

19. Larichkin V.V., Nemuschenko D.A., Kal'neus V.A., Kunicyna E.A., Legotin A.V., Slesarenko R.A. Research of impact of SiO₂ nanopowder to physical and mechanical properties of ashen ceramic. *J. Promising materials*. 2014; 11:56-62. (rus.).

Received March 16, 2020.

Adopted in a revised form on April 7, 2020.

Approved for publication April 29, 2020.

BIONOTES: **Dmitry A. Nemuschenko** — senior lector of Department of Engineering Problems of Ecology; **Novosibirsk State Technical University (NSTU)**; 20 prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation; RISC ID: 622346; nemuschenko@corp.nstu.ru;

Vladimir V. Larichkin — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Engineering Problems of Ecology; **Novosibirsk State Technical University (NSTU)**; 20 prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation; RISC ID: 108491, Scopus: 6508047294, ResearcherID: I-9967-2016; larichkin@corp.nstu.ru;

Anastasiya P. Onipchenko — student, Department of Engineering Problems of Ecology; **Novosibirsk State Technical University (NSTU)**; 20 prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation; na.oni@yandex.ru;

Vasilij S. Subbotin — student, Department of Engineering Problems of Ecology; **Novosibirsk State Technical University (NSTU)**; 20 prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation; recrut.wot@yandex.ru.

A new technique to purify biologically treated wastewater by reverse osmosis: utilization of concentrate

Aleksei G. Pervov¹, Konstantin V. Tikhonov²

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

² *Design and survey research Bureau GITEST (PINIB GITEST); Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. Possibilities to purify municipal wastewater using reverse osmosis membrane techniques are investigated aimed at production of quality water for industrial use or meeting regulations for surface water sources discharge. A new developed tools to utilize concentrate effluents by reducing its flow by a value that does not exceed 0.5–1.0 per cent of initial feed water flow and it's withdrawal of all rejected impurities together with dewatered sludge as a sludge moisture. Objectives: development of reverse osmosis techniques to purify wastewater after biological treatment; evaluation of possibilities to radically reduce concentrate flow to withdraw it together with activated sludge as it's moisture.

Materials and methods. Experimental research is conducted to develop membrane operational modes during wastewater treatment. Experimental procedure is developed and described to evaluate reduction of membrane rejection of dissolved impurities and product flow decrease during experimental wastewater treatment and concentrate utilization test run.

Results. The basic equations are derived that enable us to determine: the required concentrate flow value that corresponds to concentration values of COD and suspended solids values in the feed water; the required values of membrane recoveries that correspond to ammonia concentration in the feed water to meet required regulation values in the product water. The tools to evaluate membrane area and a number of membrane modules are developed and described. Optimum values of the working pressure are evaluated as well as other economic parameters are presented to compare the developed techniques with biological treatment.

Conclusions. To reach the required ammonia concentration in product water, double stage treatment of feed water with low-pressure reverse osmosis membranes is required. Influence of dissolved organics defined as COD, on membrane performance. The optimum value of working pressure is determined which is 7.5–8 Bars.

KEYWORDS: reverse osmosis, nanofiltration, recovery, wastewater treatment, biogenic elements removal, ammonia, wastewater sludge dewatering, sludge moisture

FOR CITATION: Pervov A.G., Tikhonov K.V. A new technique to purify biologically treated wastewater by reverse osmosis: utilization of concentrate. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(5): 688-700. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.688-700 (rus.).

Новая технология обработки сточных вод, прошедших биологическую очистку, методом обратного осмоса: утилизация концентрата

А.Г. Первов¹, К.В. Тихонов²

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

² *Проектно-изыскательское научно-исследовательское бюро «ГИТЕСТ»
(ПИНИБ «ГИТЕСТ»); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследованы возможности обработки биологически очищенных сточных вод методом обратного осмоса с целью получения высококачественной воды, пригодной для технологических нужд различных производств или для сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения. Представлено обоснование возможности утилизации концентрата установки обратного осмоса путем радикального сокращения его расхода до величины, не превышающей 0,5–1 % расхода воды, поступающей на очистку, и выведения его вместе с обезвоженным осадком избыточного активного ила в виде его влажности. Цели — разработка новой технологии обратного осмоса для обработки сточных вод, прошедших биологическую очистку; обоснование возможности радикального снижения расхода концентрата для его удаления вместе с обезвоженным осадком.

Материалы и методы. Проведены экспериментальные исследования режимов работы мембранных установок при очистке сточных вод. Описана экспериментальная методика, позволяющая определить изменения концентраций различных растворенных загрязнений в фильтрате мембранных аппаратов и падение производительности мембран в процессе обработки сточных вод и снижения расхода концентрата.

Результаты. Получены основные зависимости и выведены уравнения, позволяющие определить: требуемый расход концентрата установки в зависимости от значений концентраций взвешенных веществ, БПК и ХПК исходной сточной воды; требуемые значения выхода фильтрата в зависимости от концентрации иона аммония в исходной воде. Разработана методика определения площади мембран и количества мембранных аппаратов на каждой ступени обработки сточной воды. Определены оптимальные значения рабочего давления, экономические показатели установки в сравнении с другими технологиями очистки сточных вод.

Выводы. Установлено, что для достижения требуемого качества очистки воды по аммонийно, необходимо использовать две ступени обработки с применением низконапорных обратноосмотических мембран. Показано влияние содержащихся в воде растворенных органических веществ, определяемых ХПК, на производительность мембран. Выявлена оптимальная величина рабочего давления при работе мембранной установки при очистке сточной воды, составляющая 7,5–8 бар.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: обратный осмос, нанофильтрация, выход фильтрата, очистка сточных вод, удаление биогенных элементов, аммонийный азот, обезвоживание осадка сточных вод, обезвоживание осадка, влажность осадка

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Первов А.Г., Тихонов К.В. A new technique to purify biologically treated wastewater by reverse osmosis: utilization of concentrate // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 5. С. 688–700. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.688-700

INTRODUCTION

Reverse osmosis is recognized as a very efficient tool to reject different impurities [1–3]. However, the wide application of this technique is reduced by disadvantage of membrane treatment technology — the existence of concentrate streams that are discharged in water sources [1–6]. At the world, biggest wastewater treatment reverse osmosis facilities concentrate is discharged in the sea [1]. But such an approach cannot be widely applied. Concentrates of reverse osmosis constitute about 15–20 per cent of the feed water that enters membrane treatment facilities [1, 11]. To reduce concentrate flows, different tools are developed [8–11].

In earlier publications [10, 11] the authors proposed a new technique to reduce and “utilise” concentrate flow of reverse osmosis (RO) facilities used to treat wastewater after biological treatment. According to the developed technique [10] reverse osmosis concentrate flow is reduced to a value not exceeding 0.5–1.0 per cent of feed water that enters RO facility. This amount is withdrawn from the water treatment facility together with the dewatered sludge as the sludge moisture.

Reverse osmosis design experience revealed main problem of membrane selection — reduction of ammonia concentration. Reverse osmosis membranes reduce ammonia concentration by 15–20 times. For the case, when ammonia concentration in wastewater is 50–60 ppm double stage reverse, osmosis process is required. Membrane flux decreases with recovery and feed water TDS growth. Therefore, concentrate flow can be reduced through the use of nanofiltration membranes. After wastewater is treated by reverse osmosis membrane, reverse osmosis concentrate is further treated with nanofiltration membranes at the additional stage.

Present article describes results of research to develop guidelines to utilize reverse osmosis concentrate flow, such as:

- concentrate flow and recovery values are determined to meet requirements to reach concentrate volume that equals the sludge moisture;

- relationships are elaborated to predict product water composition and determine membrane unit characteristics (pressure, recovery, membrane rejection etc.);

- a new technique is proposed, which allows to evaluate the membrane area and membrane modules amount to reach the required product water quality and product flow.

OBJECTIVES

According to developed new technique concentrate flow is reduced and withdrawn together with dewatered activated sludge [12–18]. Application of reverse osmosis can provide efficient solution to remove biogenic elements from wastewater that seems very competitive to membrane bioreactors and other membrane processes used for wastewater treatment and reuse [12, 13, 19–21]. The required concentrate flow and its chemical composition can be obtained from balance equations that are based on assumption that the amount of dissolved salts (impurities) that are discharged from membrane system together with the sludge and desalinated water are equal to amount of impurities in the feed wastewater that enters membrane system. Therefore, the amount of salts that enters the sedimentation tank with concentrate flow and the sludge flow is equal to amount of salts that are contained in dewatered sludge that is removed from the system.

The research was mainly aimed on development of tools to design RO unit that treats wastewater and provides recovery up to 99.5 %.

- to determine optimum values of recovery of the first stage RO unit;

- to determine required value of recovery of the second stage unit;

- to determine characteristics of product and concentrate on the second stage of concentrate treatment with nanofiltration membranes;

- to determine the required amount of membrane modules on the first and on the second stage of wastewater concentrate treatment to reach recovery up to 99 %.

MATERIALS AND METHODS

To evaluate membrane product flow and rejection characteristics during water treatment, experiments were conducted using wastewater after biological treatment. 70 liters of wastewater were sampled from the secondary sedimentation tank at the wastewater facilities in Narofominsk (Moscow vicinity).

The test procedure to reduce concentrate flow and investigate its influence on membrane performance was described in [9–11]. The test unit flow diagram is shown on Fig. 1. Wastewater after bioreactor was collected in the feed water tank 1. The pump 2 to the module 3 pumped wastewater. Concentrate was returned back to the tank 1 and product flow was forwarded to product tank 4. Pressure value was regulated using the pressure valve 5 and controlled by pressure gauge 6. Reverse osmosis membrane used were 1812 type elements manufactured by CSM Company (model 1812 BLN). For concentrate treatment, 90NE membranes were used (model 1812 90NE). The gear pump created pressure. Pressure value was 6 Bars.

Wastewater after biological treatment was placed in tank 1. From tank 1 feed water was fed by pump 2 to membrane module 3 where feed water was separated into product and concentrate (retentate) flows. Product flow is forwarded to product tank 4 and retentate is returned to tank 1. During test unit operation retentate volume in tank 1 constantly decreased while product volume in tank 4 constantly grew. The ratio of initial

volume in tank 1 in the beginning of experiment to the volume in tank 1 at the certain moment is defined as Concentration coefficient K . Usually in water desalination practice K value does not exceed 4–6, as dissolved salt concentrations in retentate grow and sparingly soluble salts scaling as well as organic coagulation and fouling can occur. Therefore on the first stage of experiment K value was 10 that corresponds to reduction of feed water volume in tank 1 from 70 to 10 liters. Membrane element of 1812 type tailored with low pressure reverse osmosis BLN membranes (CSM production) that reject ammonia ions by 90–95 per cent was used. The product water volume obtained during the first stage of experiment was 63 liters. On the second stage product tank 4 was used as a feed water tank 1 and collected product water was secondly treated by RO membrane to reduce ammonia concentration to meet regulation requirements for water discharge (0.4–0.5 ppm of ammonia). By the end of the second test run feed water volume in the tank 1 was 6 liters that corresponded to K value of 10. At the third experimental stage concentrate collected in tank 1 during the first test run (7 liters) was secondly treated by mebrane module tailored with 90NE nanofiltration membrane to reach 0.5–0.7 liters volume. The selection of nanofiltration membrane with larger pore size enables us to treat and separate solutions with high TDS values. Nanofiltration membrane product water was collected in separate product tank 4. During all three test runs samples were regularly withdrawn from tanks 1 and 4, when K values equaled 1, 2, 5 and 10.

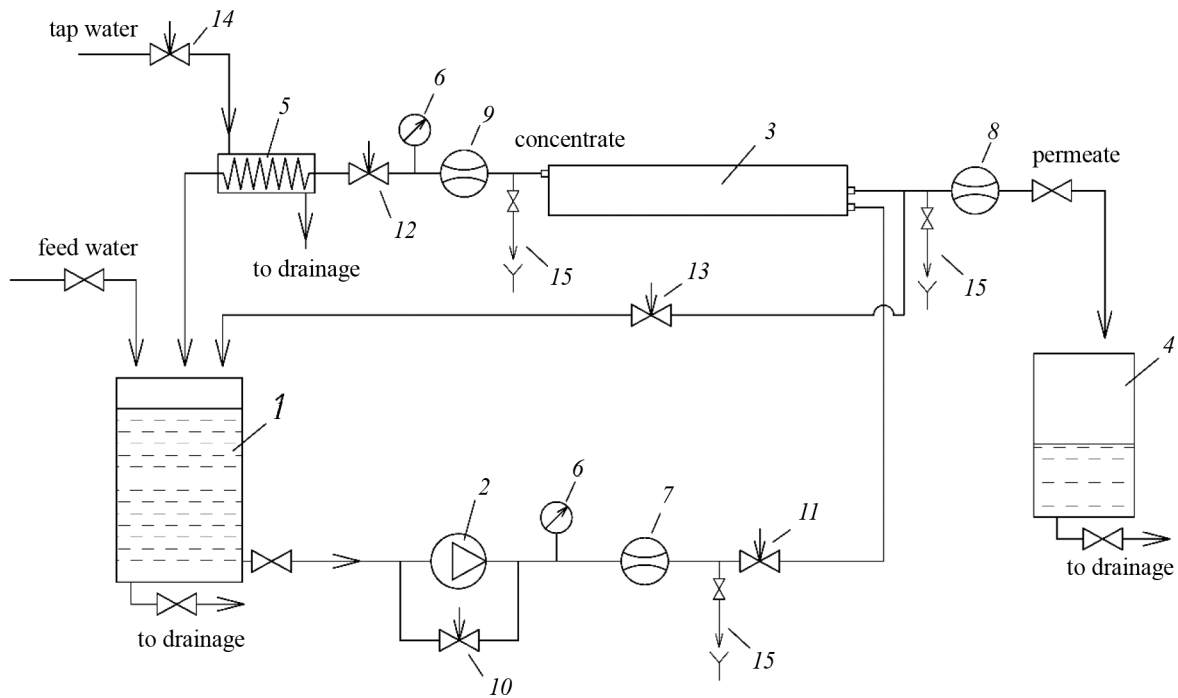


Fig. 1. The test membrane unit flow diagram: 1 — feed water tank; 2 — pump; 3 — spiral wound membrane module; 4 — permeate tank; 5 — heat exchanger; 6 — pressure gauge; 7 — feed water flow meter; 8 — permeate flow meter; 9 — concentrate flow meter; 10 — by-pass adjusting valve; 11 — feed water adjusting valve; 12 — concentrate adjusting valve; 13 — cooling water adjusting valve; 14 — sampler; 15 — chemical cleaning valves

RESULTS. EXPERIMENTAL DATA PROSESSING

1. Determination of membrane product water quality.

Experimental data was consistently processed with the aim to obtain values of the main technical parameters of membrane unit. First of all, dependencies of various ions concentration values on the recovery and the product volume were determined. Fig. 2 shows dependencies of ionic concentrations of sulphates, chlorides and ammonia ions on concentration factor K values, where K is a ratio of the initial volume in tank 1 (Fig. 1) to the volume of product water in product tank (4) during the test run.

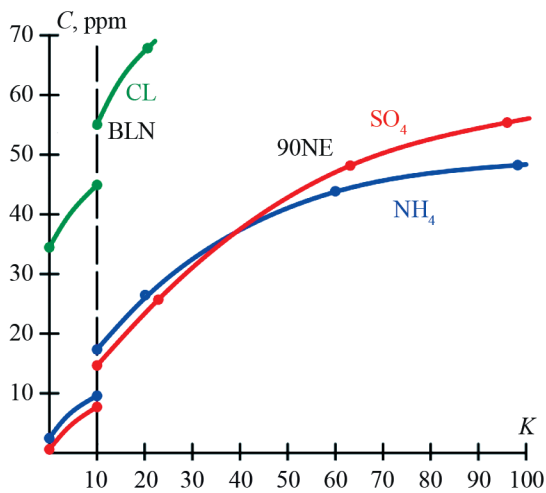


Fig. 2. Increase of different species concentration values in product water with K growth (K — concentration factor, $K = V_{fl}/V_{conc}$)

Fig. 2 shows dependencies of various species concentration values in tank 1 (Fig. 1) versus K values during the first and the third test runs. As it can be seen, the growth rate of salt concentration with K increase in the first test run is obviously than in the third test run. This can be explained by higher rejection of reverse osmosis BLN membrane than of nanofiltration membrane used in the third test run. During the first test run about 5–10 per cent of salts contained in the feed water penetrate in product through membrane. And during the third test run 15–20 per cent of salts penetrate in product water due to low rejection of nanofiltration membranes. In this case, the experimental dependence is nonlinear: the concentration of salts in retentate does not grow in proportion to the decrease in retentate volume. Fig. 3 shows dependencies of different species concentration values in product water versus K during the first and the second test runs. Salts concentration values also does not increase in proportion to K value growth. This is because each

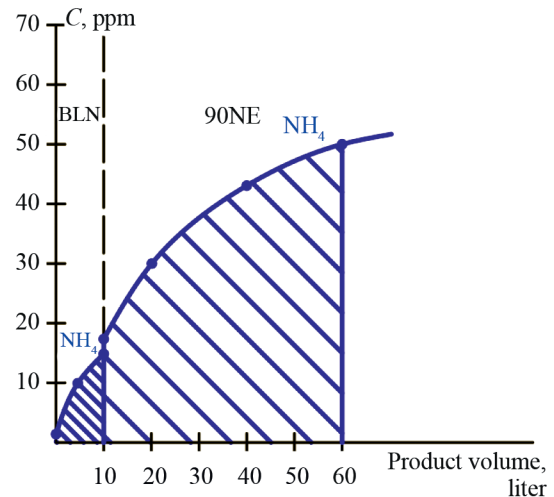


Fig. 3. Concentrations of ammonia in product water versus product water volume

sample was taken from the total volume of product accumulated after reaching certain K value.

Fig. 3 shows dependencies of ammonia concentration values in product tank on the volume of produced product. At the beginning of experiment, initial volume was 70 liters. This volume was treated on the first stage of experiment by low pressure reverse osmosis BLN type membranes until the amount of water in feed tank 1 (Fig. 1) was 7 liters and the volume of product water collected in tank 4 was 63 liters. On the second stage of experiment the remained amount of concentrate (7 liters) was treated using nanofiltration 90-NE membranes that demonstrated higher product flow. Evaluation of the areas of shaded figures shown on Fig. 3 enable us to calculate amounts of salts in product water on different stages of experiment at different K values.

Then, decrease of membrane product flow throughout the experiment was evaluated as a dependence on K value.

Fig. 4 shows dependencies of ammonia and sulphate ionic concentrations as well as COD (chemical oxygen demand) values in concentrate flow during experimental test run. At different stages (that corresponded to certain K values, such as: 2, 4, 6, 10, 20, 40, 80) product water samples were withdrawn where concentrations of all impurities as well as TDS values were determined. Similar dependencies of different species' concentration values versus amount of product water collected are shown on Fig. 5 and 6. Concentrations of chloride and calcium ions are not shown as these values are much higher, than concentrations of ammonia and sulphates. BLN membranes efficiently rejected phosphate ions and their concentration values in product water were far lower than regulation values for surface water discharge.

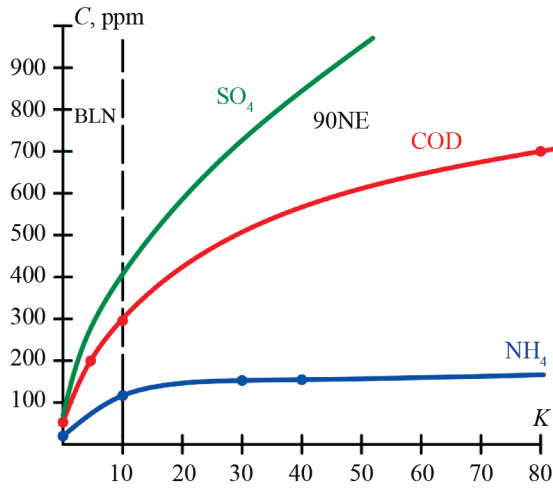


Fig. 4. Different species concentration values increase in concentrate versus K

As it is shown on Fig. 5 and 6, ammonia concentration values in product are higher, than discharge regulation values. This can be explained by the low rejection of monovalent ions by low-pressure RO membranes in the pressure range of 6–12 Bars. Ammonia ion rejection in this pressure range varies between 85 and 90 per cent. Therefore, to arrange high rejection of ammonia, the second stage RO BLN membrane treatment should be applied.

Fig. 6, shows relationships of ammonia and K concentration values in the first stage product water and in the second stage product water when the first stage product water, after the test run was finished, was collected and used as a feed water for the second stage. Concentration values of ammonia and sulphate ions are presented versus K values on Fig. 6.

Concentration values of TOC, ammonia and sulphates versus volume of product water are presented on Fig. 7.

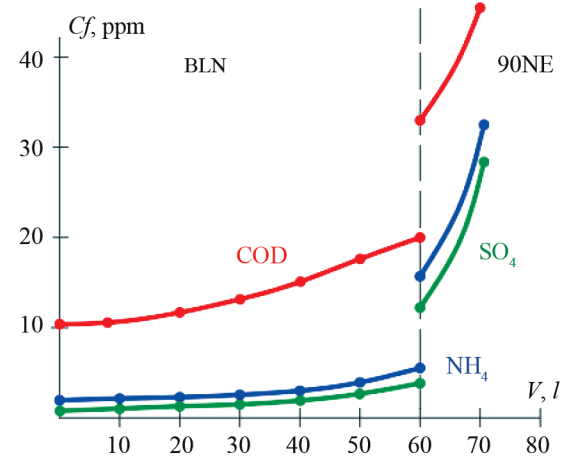


Fig. 5. Total concentration of different species in product versus volume of product water volume

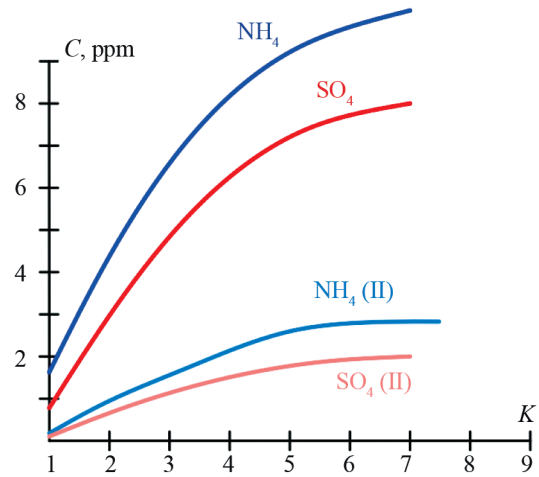


Fig. 6. Ammonia and sulphate concentrations in product water on the first and on the second stage of membrane treatment versus K

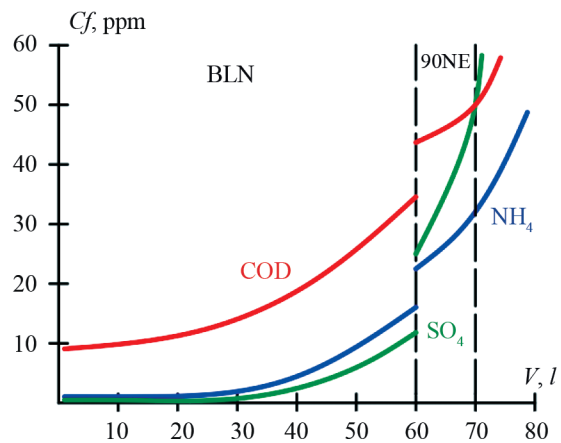


Fig. 7. Total concentrations in product, versus product volume

Fig. 8 demonstrates reduction of specific product flow values of BLN membranes with the increase of product volume (from 0 to 63 liters) and of 90NE membranes with the increase of product volume from 63 to 69.3 liters. As it is shown, membrane product flow decreased by more than 10 times. Fig. 9 shows reduction of specific product flow versus K on both stages of concentrate treatment. Product flow was measured under pressure value of 6 Bars.

The next step was devoted to determination of technical parameters of membrane unit. Experimental data processing was aimed at determination of technical characteristics of membrane unit, such as membrane area required and minimal concentrate amount. To predict influence of membrane unit recovery on product water quality, various relationships were examined. Fig. 9 shows the growth of TDS in BLN and 90NE products. TDS values are obtained at pressure values of 6 and 12 Bars.

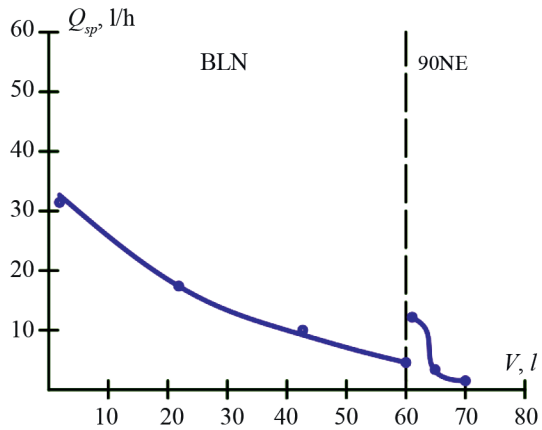


Fig. 8. Reduction of specific membrane product flow rate, versus volume of product water

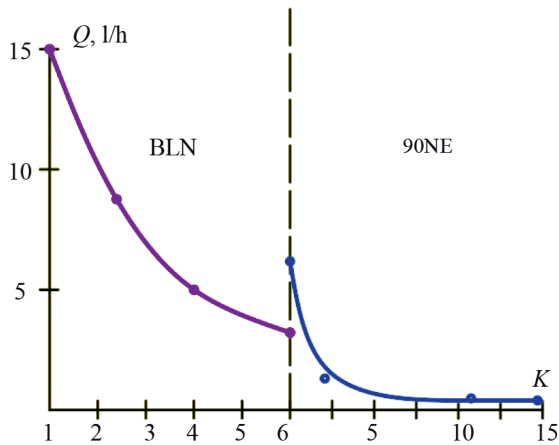


Fig. 9. Reduction of specific product water rate versus K on the first stage (BLN membranes) and on the second stage (70 NE membranes) of membrane treatment

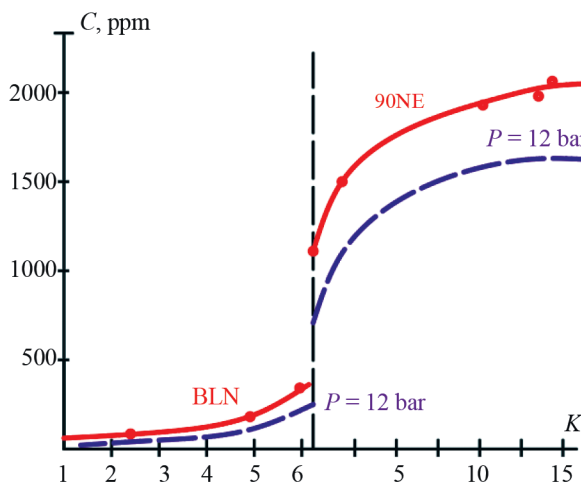


Fig. 10. The increase of TDS in product with K growth

Fig. 11 shows decrease of BLN membrane product flow with time during experimental test run. To predict increase of concentration values of different dissolved species in product with recovery growth, the graph shown on Fig. 11 is conditionally divided into sections. Each section corresponds to different range of K values: from 1 to 1.6; from 1.6 to 3; etc. Area of shaded figure demonstrates the amount of product water produced in each range of K (when K changes from 1 to 1.6 etc.). The amount of product water obtained in each range of K variation is presented as a percentage of the total amount of product water produced by BLN during first stage of experiment when K increased from 1 to 10.

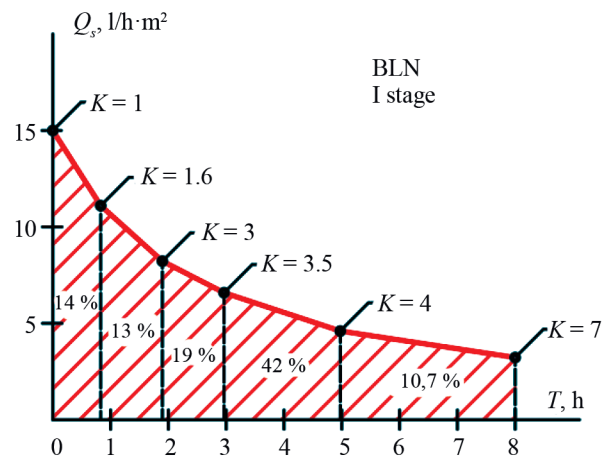


Fig. 11. Processing of experimental data: prognosis of total concentration of impurities in product water of BLN membranes. Step 1: decrease of product flow with time

The graph of 90NE product flow reduction with time during concentrate treatment with time, when K value changed from 1 to 15 was similarly obtained and is shown on Fig. 12. For each range of K amounts of product water are obtained as well as the TDS values. These amounts were obtained by multiplying the average concentration value by volume. The average concentration value was calculated as the arithmetic mean of the of TDS values in water samples withdrawn in the beginning and in the end of each range of K , for example: at $K = 1$ and $K = 1.6$, and at $K = 1.6$ and $K = 3$, etc. For obtained values of TDS and product volumes, the plots are built that demonstrate TDS values and different species concentration values in total product amounts that correspond to certain K and product volume values (Fig. 13). To determine concentration values, product volumes produced in each range and total salts amounts contained in these volumes were summarized and then the total volume then divided total salt amount.

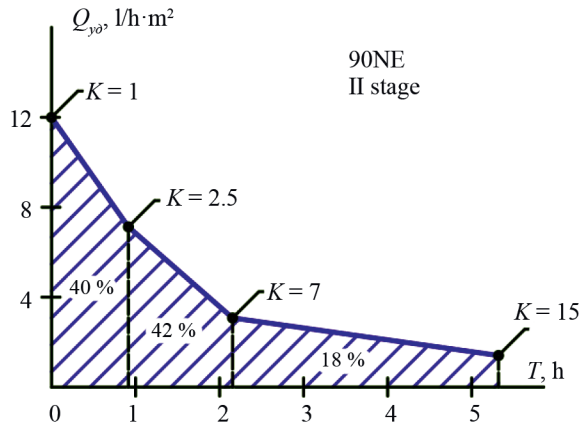


Fig. 12. Prognosis of total concentrations of impurities in product water of 90NE membranes on the second stage. Step 1: reduction of specific product flow with time

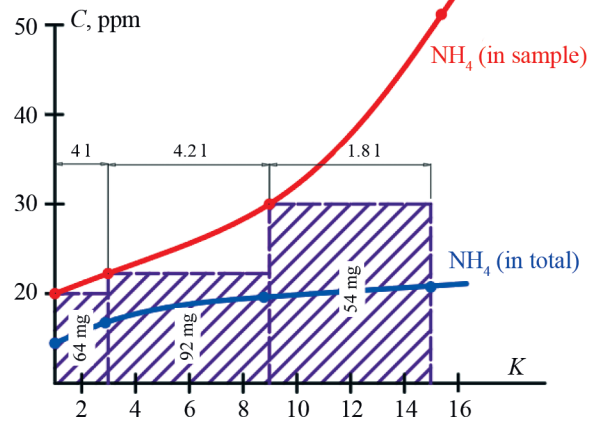


Fig. 14. Processing of experimental data. Prognosis of total concentrations of impurities in product water of 90NE membranes. Step 2: concentration versus K

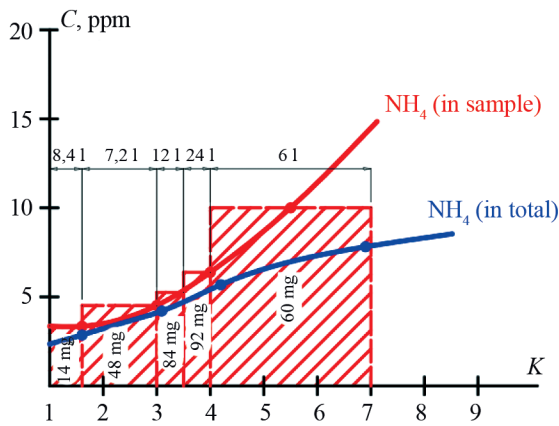


Fig. 13. Processing of experimental data. Prognosis of total concentrations of impurities in product water of BLN membranes. Step 2: concentration versus K

Fig. 13 shows the of ammonia concentration values in BLN membrane product water samples withdrawn during experimental test run versus K (higher curve) and calculated ammonia concentrations in total product volume that corresponded to various K values (lower curve). Results of calculation of ammonia concentrations in 90NE product water versus K are shown on Fig. 14. Determination of the required membrane area was undertaken using results shown on Fig. 13 and 14 to reach the required K value during wastewater treatment.

Main steps to calculate the required membrane area and amount of membrane modules during first stage of water treatment with BLN membrane, when K is increased from 1 to 7 is illustrated on Fig. 15. Fig. 15 (a) shows the amounts of product volume produced in the K ranges from 1 to 3, from 3 to 4 and from 4 to 7. The volume amount are presented as a percentage of the total volume produced during treatment of 70 liters of the feed wastewater with the final K value of 7 (after 60 liters of product water was produced). The selection

of value 7 is explained by the low product water quality obtained with K values from 7 to 10. Fig. 15, *b* presents results of determination of membrane product flow rates in different K ranges. The calculations are made for the case, when the required product flow of membrane facility is 1000 liter per hour and concentrate flow is 140 liters per hour. For each range of change of K value product flux was determined (Fig. 15, *a*) and the arithmetic average value of membrane specific flux was determined, expressed in: liters/hour x square meter (Fig. 11).

Using calculated values of product water produced during one hour in the selected range of K and average specific value of membrane flux within this range, we can calculate the required membrane area to provide the required amount of product water during one hour. Fig. 15, *c* shows results of membrane area determination within the selected ranges of K variation. Calculations are made for the case, when BLN membranes treat wastewater and K value changes from 1 to 7, and the pressure was 6 Bars. The required number of membrane elements can be determined assuming that membrane area in a standard 4040 element (BLN 4040) manufactured by CSM Company (Korea) equals 10 square meters. Thus, to decrease wastewater flow by 7 times and to produce 1000 liters of quality product water per hour we need to use 12 elements of 4040 standard. The K value grows “step by step”, therefore elements can be connected in series: 5 in parallel, then 4 and 3.

Fig. 16, *a, b* demonstrates similarly obtained results of a number of membrane elements calculations required to further reduce concentrate flow from 140 to 10 liters per hour on the second stage of concentrate treatment. For the second stage, 90NE nanofiltration membranes were used. As it is shown on Fig. 15, *c*, to reduce concentrate flow on the second stage, 5 membrane elements 90NE 4040 are needed connected in series: 3 in parallel and 2 in parallel.

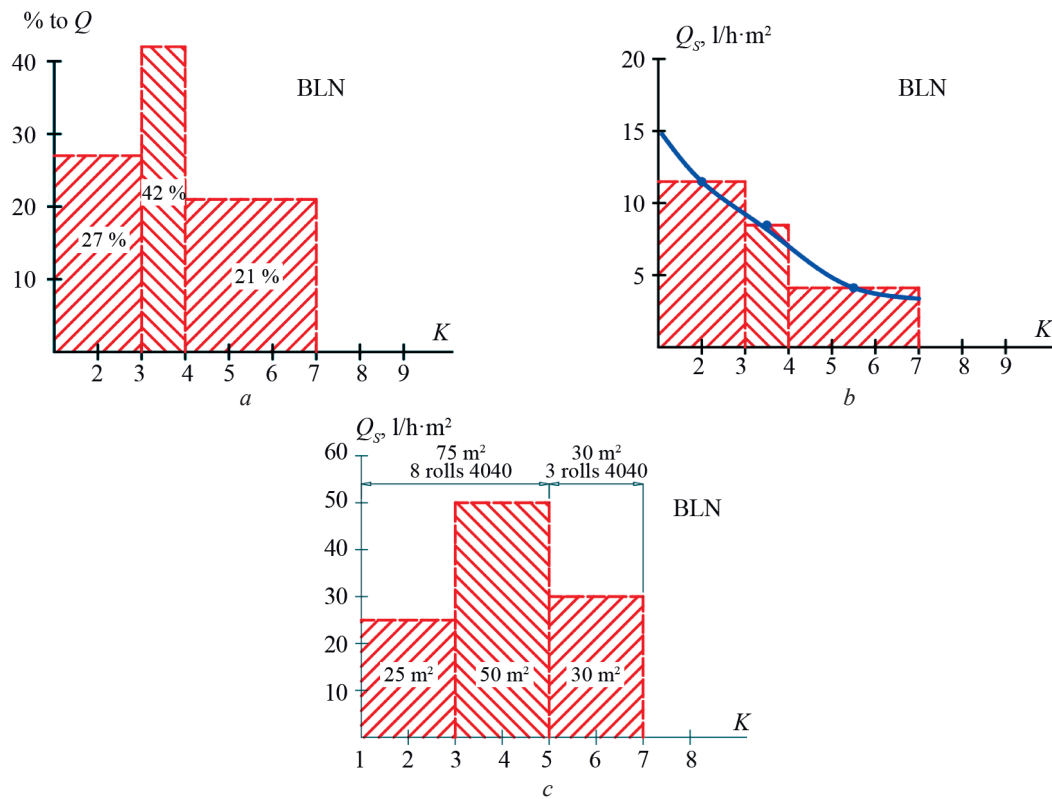


Fig. 15. Processing of experimental data. Determination of the required BLN membrane area (product flow is 1000 liter per hour; concentrate flow is 140 liter per hour; pressure is 6 Bars): *a* — percentage of product flux for different ranges of K ; *b* — the arithmetic average of specific membrane flow versus K ; *c* — membrane area within the selected ranges of K variation

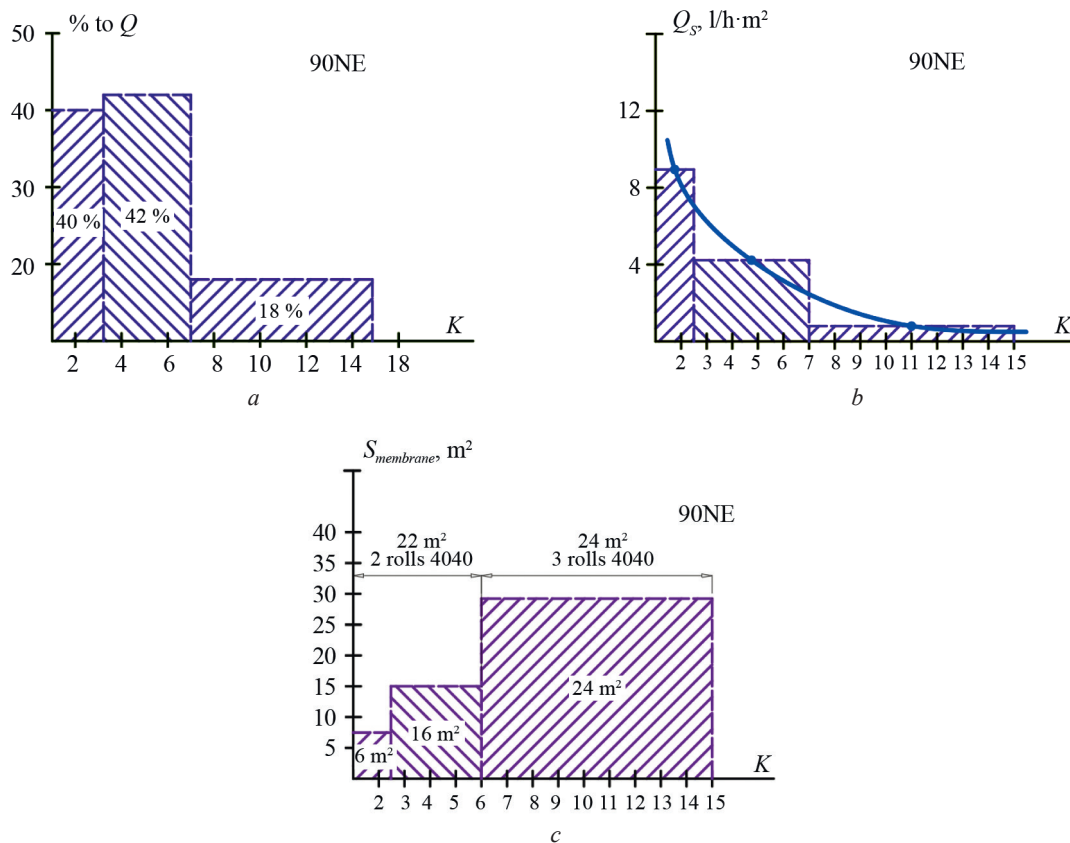


Fig. 16. Results of a required number of 90 NE membrane elements evaluation: *a* — percentage of product flux for different K range; *b* — the arithmetic average of specific membrane flow versus K ; *c* — membrane area within the selected ranges of K

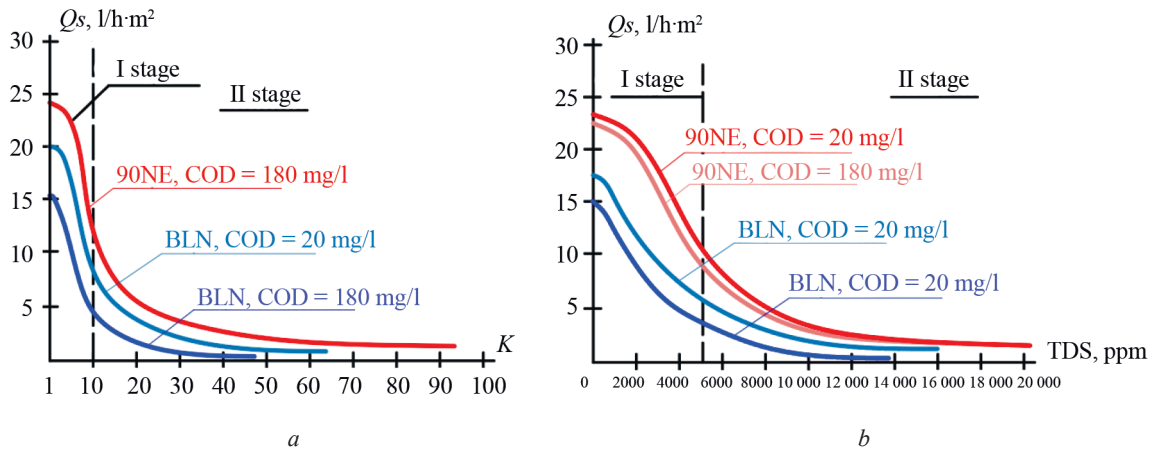


Fig. 17. Reduction of specific membrane flow with growth of K and TDS: a — membrane flux versus K ; b — reduction of flux with TDS growth

It seems very important to investigate the influence of dissolved organics on membrane flux decrease [22–25]. COD values in wastewater tested in our experiments varied from 50 to 200 ppm. During wastewater treatment, when concentrate flow decreases by 70–100 times organic concentrations can reach high values that sufficiently increase osmotic pressure and reduce membrane flux. Therefore, to predict membrane behavior, we have to account for not only dissolved salts concentrations but dissolved organics (COD) as well. Fig. 16, a shows experimentally obtained dependencies of membrane BLN 1812 element flux on K during treatment of wastewater with different COD values. Fig. 17, b shows results of observed membrane flux reduction as dependencies on feed wastewater TDS (total dissolved salts) concentrations. It can be seen that membrane flux decreases not only due to increase of TDS, but also due to BOD growth.

Concentration values of different species in product water produced throughout the cycle were determined basing on results shown on Fig. 16 and 17.

Product water quality prognosis is very important for membrane system design. One of the main parameters of membrane performance is Rejection (R), which represents the amount of salts, penetrated through membrane and is defined as the ratio of the difference between salt concentration in the feed water (concentrate) C_f and in the product water C_p to concentration of salts in the feed water, expressed in percentage: $R = (C_f - C_p)/C_f, \%$. Membrane rejection is the main characteristic that demonstrates their efficiency. In our experiments membrane rejection (as compared to concentration of the feed water) constantly decreased, as salt concentration in circulating concentrate constantly increased with growth of K value. It is convenient to present rejection values as a function of Recovery, defined as the ratio of product flow rate (Q_p) to the feed flow rate (Q_f) expressed in percentage: $Rec = Q_p/Q_f$ (where Q_f is the feed water flow and Q_p is product water flow). Fig. 18 (a) presents results of ammonia, sulphates, TDS and COD rejection determination during treatment of wastewater with BLN mem-

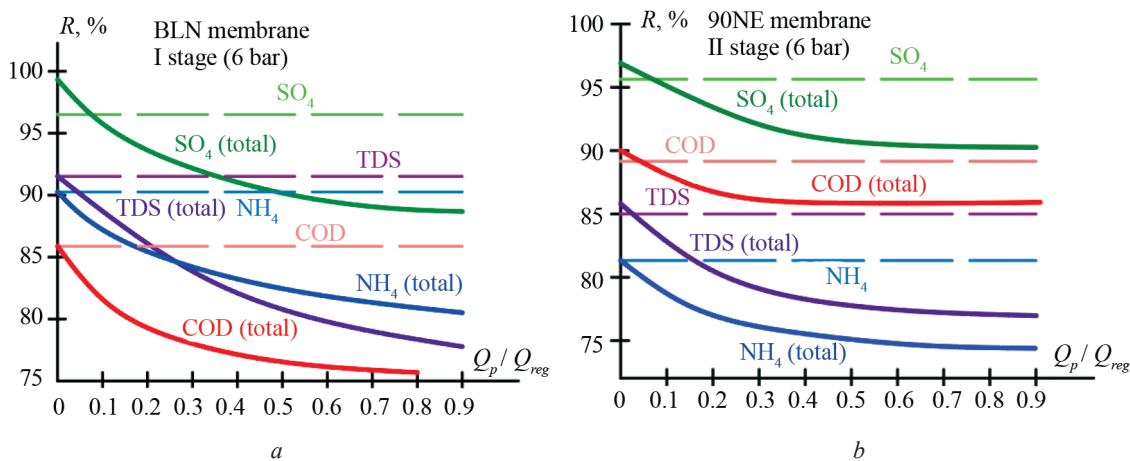


Fig. 18. Evaluation of membrane rejection characteristics: a — BLN membrane rejection versus recovery (Q_p/Q_{reg}); b — 90NE membrane rejection versus recovery

branes to reach K value of 7. The “overall” Rejection values of all impurities were determined as a ratio of concentration values in product water at certain K values (as shown on Fig. 13) to their concentrations in the feed water.

As can be seen from Fig. 18, *a*, the graphs of rejection versus Recovery dependencies in their appearance correspond to the graph of the natural exponential function, which simplifies its mathematical processing. Fig. 18, *a* also shows graphs of “true” rejection values versus Recoveries. The “true” rejection were determined as a ratio of salt concentration in product water sample to salt concentration in concentrate sample at the certain K value. As it can be seen, the value of “true” Rejection does not depend on Recovery values as well as on the concentration values in the feed water. Therefore, the obtained relationships enable us to evaluate Rejection characteristics and to predict product water chemical composition for different feed water conditions.

Fig. 18, *b* demonstrates results of determination of the 90 NE membrane Rejection values versus Recovery values. Basing on the obtained data the formula is derived to calculate ammonia and COD concentrations in product water for different Recovery values. Step 10. It seems very important to determine the required Recovery (and K) value that corresponds to required product water quality that meets discharge regulations. It also seems reasonable to demonstrate the obtained results as dependencies of concentrations of different species on Recoveries.

Fig. 19 shows results of ammonia concentrations evaluation (provided also on Fig. 6) in BLN membrane product water on the first and on the second stage of membrane treatment. The experimental data are presented as relationships of the values of C_p/C_{reg} ratio (ratio of ammonia concentration value in product water to the standard regulation value of ammonia) versus recovery. The intersection of the curve with a straight line parallel to the abscissa axis that corresponds to $C_p/C_{reg} = 1$ gives us a recovery value where ammonia concentration in product does not exceed regulation value. As it is seen on Fig. 19, at 6 Bars ammonia concentration in product water exceeds regulation value for all recoveries. When product is treated on the second stage of reverse osmosis, a maximum recovery value of 60 % on the second stage could be reached with ammonia value in product water meeting regulation requirements. For the case when working pressure is increased by 16 Bars recovery value can be increased up to the value of 90 %.

Pressure value influences the value of low pressure membrane recovery: the higher pressure is, the higher is rejection. This is attributed to compaction and compression of membrane selective layer structure. Therefore rejection efficiency grows with the pressure increase. Fig. 20 shows BLN membrane rejection of ammonia ions versus recovery values at different pressure values. The derived formulas for calculation of recovery values also account for different pressure values.

Pressure value influences the value of low pressure membrane recovery: the higher pressure is, the higher is rejection. This is attributed to compaction and compression of membrane selective layer structure. Therefore rejection efficiency grows with the pressure increase. Fig. 20 shows BLN membrane rejection of ammonia ions versus recovery values at different pressure values. The derived formulas for calculation of recovery values also account for different pressure values.

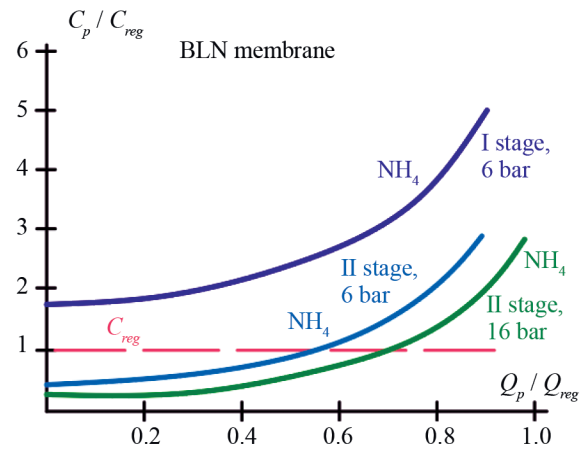


Fig. 19. Ratio of ammonia concentration in product water to the standard regulation value of ammonia (C_p/C_{reg}) versus recovery

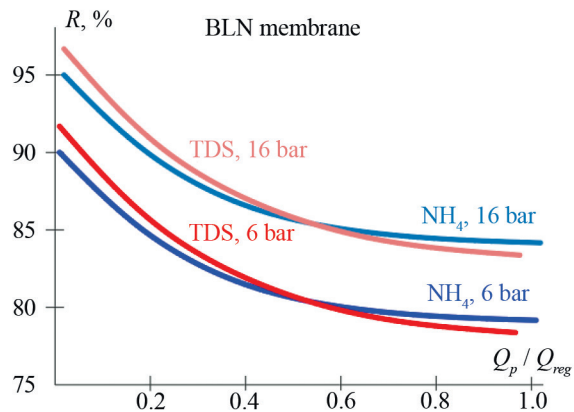


Fig. 20. BLN membrane rejection of ammonia versus recovery for different pressure values

Fig. 21 shows an example of calculation of required recovery values for the case, when ammonia concentration in the feed water was 2.5 ppm. Calculations can be carried out for different membrane types and at different pressure values on the first and on the second stages of membrane treatment.

The derived calculated dependencies to evaluate BLN membrane rejection of ammonia on the first and on the second stage at different pressure values are shown on Fig. 22. The difference of rejection values on the first and on the second stages can be explained by TDS growth and increase of osmotic pressure that decreases

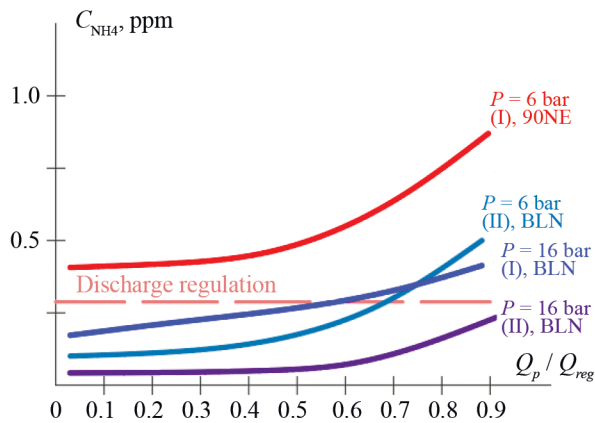


Fig. 21. Evaluation of required recovery to reduce the total ammonia concentration in product water of BLN membranes on the first and on the second stage at different pressure values. Ammonia concentration versus recovery

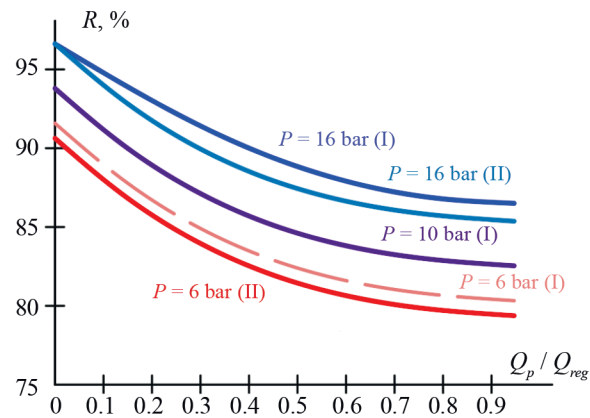


Fig. 22. Ammonia rejection by BLN membranes on the first and second stages at different pressure values versus recovery

the value of the “current” working pressure (difference between working pressure and osmotic pressure).

Fig. 23 describes an example to calculate recovery values of the first and the second stages for different ammonia concentrations in the feed water using the derived formula. For the beginning, for maximum recovery value of 90 % (Fig. 23, a) we can calculate required ammonia rejection on the second stage. Basing on the required ammonia concentration in the product water, and membrane rejection value, we can calculate ammonia concentration in the product on the first stage that enters the second membrane stage. Further, knowing ammonia concentration in the first stage product water, and knowing ammonia concentration in the feed wastewater, we calculate the required recovery value on the first stage.

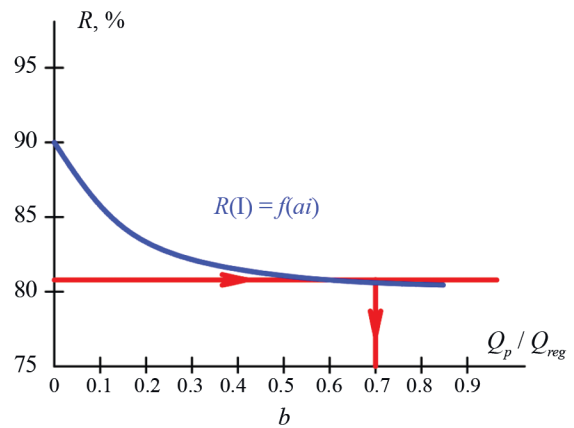
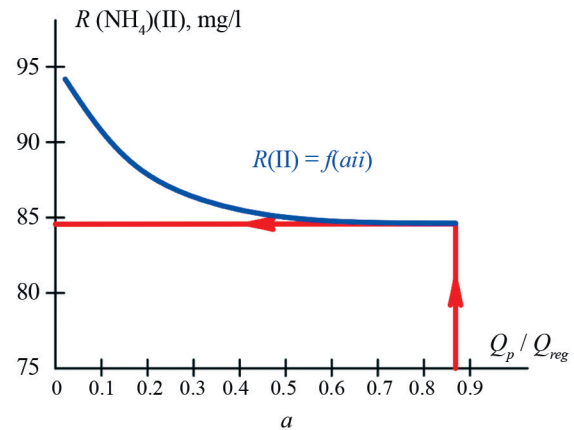


Fig. 23. Guidelines to calculate the required rejection and recovery values on the second (a) and on the first (b) stages for the certain ammonia concentration in the feed water

CONCLUSIONS

To reach the required ammonia concentration in product water, double stage treatment of feed with low pressure reverse osmosis membrane treatment is required.

Ammonia rejection efficiency depends on working pressure values. Higher-pressure values provide higher recovery values to provide required efficient ammonia rejection values.

Influence of dissolved organics defined as COD on membrane performance is investigated/Wastewater COD decreases membrane flux and should be accounted, when membrane area is determined.

Application of reverse osmosis and nanofiltration membranes enables us to produce quality water that meets discharge regulation standards and concentrate flow that does not exceed 0.3–0.5 % of the total feed water that enters water treatment plant.

REFERENCES

1. Gude V.C. Desalination and sustainability — An appraisal and current perspective. *Water Research*. 2016; 89:87-106. DOI: 10.1016/j.watres.2015.11.012
2. Shrivastava A., Rosenberg R., Peery M. Energy efficiency breakdown of reverse osmosis and its implications on future innovation roadmap for desalina-

- tion. *Desalination*. 2015; 368:181-192. DOI: 10.1016/j.desal.2015.01.005
3. Lee H., Jin Y., Hong S. Recent transitions in ultrapure water (UPW) technology: rising role of reverse osmosis (RO). *Desalination*. 2016; 399:185-197. DOI: 10.1016/j.desal.2016.09.003
 4. Burn S., Hoang M., Zazzo D., Olewniak F., Campos E., Bolto B. et al. Desalination techniques — A review of the opportunities for desalination in agriculture. *Desalination*. 2015; 364:2-16. DOI: 10.1016/j.desal.2015.01.041
 5. Wilf M. *The Guidebook to Membrane for Wastewater Reclamation*. Balaban Desalination Publications, 2010.
 6. Lateef S.K., Soh B.Z., Kimura. K. Direct membrane filtration of municipal wastewater with chemically enhanced backwash for recovery of organic matter. *Bioresource Technology*. 2013; 150:149-155. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.09.111
 7. Nascimento T.A., Mejía F.R., Fdz-Polanco F., Miranda M.P. Improvement of municipal wastewater pretreatment by direct membrane filtration. *Environmental Technology*. 2017; 38(20):1-35. DOI: 10.1080/09593330.2016.1271017
 8. Chen-Hua Ni, Yu-Chung Lim, Chia-Yuan Chang, Justin Chun-Te Lin. Reclamation of Wastewater in Petro-Chemical industries using submerged micro-filtration and RO membranes. *The International Desalination Association World Congress*. 2017.
 9. McCarty P.L., Bea J., Kim J. Domestic wastewater treatment as a net energy producer — can this be achieved? *Environmental Science & Technology*. 2011; 45(17):7100-7106. DOI: 10.1021/es2014264
 10. Galan N.J.M., Young K., Furukava R. Retrofit of a two-stage wastewater reuse system to maximize recovery and performance. *The International Desalination Association World Congress*. 2017.
 11. Pervov A.G., Andrianov A.P. Application of membranes to treat wastewater for its recycling and reuse: new considerations to reduce fouling and increase recovery up to 99 percent. *Desalination and Water Treatment*. 2011; 35(1-3):2-9. DOI: 10.5004/dwt.2011.3133
 12. Perez-Gonzales A., Urriaga A.M., Ibanez R., Ortiz I. State of the art and review on the treatment technologies of water reverse osmosis concentrates. *Water Research*. 2012; 46(2):267-283. DOI: 10.1016/j.watres.2011.10.046
 13. Chidambaram T., Oren Y., Noel M. Fouling of nanofiltration membranes by dyes during brine recovery from textile dye bath wastewater. *Chemical Engineering Journal*. 2015; 262:156-168. DOI: 10.1016/j.cej.2014.09.062
 14. Chung H.W., Nagar K.G., Swaminathan J., Chehayeb K.M., Lienhard J.H. Thermodynamic analysis of brine management methods: zero-discharge desalination and salinity-gradient power production. *Desalination*. 2017; 404:291-303. DOI: 10.1016/j.desal.2016.11.022
 15. Zornitta R.L., Lado J.J., Anderson M.A., Ruotolo L.S.A.M. Effect of electrode properties and operational parameters on capacitive deionization using low-cost commercial carbons. *Separation and Purification Technology*. 2016; 158:39-52. DOI: 10.1016/j.seppur.2015.11.043
 16. Pervov A., Tikhonov K., Dabrowski W. Application of reverse osmosis to treat high ammonia concentrated reject water from sewage sludge digestion. *Desalination and Water Treatment*. 2018; 110:1-9. DOI: 10.5004/dwt.2018.22009
 17. Dabrowski W., Pervov A.G., Tikhonov K.V. Use of reverse osmosis to modify biological wastewater treatment. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2018; 13(10):1220-1233. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.10.1220-1233
 18. Farsaneh H., Loganathan K., Saththasivan J., Sarp S., McKay G. Reuse of treated sewage effluent in Qatar. *The International Desalination Association World Congress*. 2016.
 19. Ye Y., Ngo H.H., Guo W., Liu Y., Li J., Liu Y. et al. Insight into chemical phosphate recovery from municipal wastewater. *Science of the Total Environment*. 2017; 576:159-171. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.078
 20. Nair A.T., Ahammed M.M. Water treatment sludge for phosphate removal from the effluent of UASB reactor treating municipal wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*. 2015; 94:105-212. DOI: 10.1016/j.psep.2015.01.004
 21. Zach-Maor A., Semiat R., Rahardianto A., Cohen Y., Wilson S., Gray S.R. Diagnostic analysis of RO desalting treated wastewater. *Desalination*. 2008; 230(1-3):239-247. DOI: 10.1016/j.desal.2007.11.028
 22. Dasgupta J., Sider J., Chakraborty S., Curcio S., Drioli E. Remediation of textile effluents by membrane based treatment techniques: a state of the art review. *Journal of Environmental Management*. 2015; 147:55-72. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.08.008
 23. El-Naas M.H., Alhaila M.A., Al-Zuhair S. Evaluation of a three-step process for the treatment of petroleum refinery wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2014; 2(1):56-62. DOI: 10.1016/j.jece.2013.11.024
 24. Gagliardu P., Aghan S. Water reclamation with membrane bioreactors: Proceeding of the conf. on Membranes. Paris, October 2000. *Desalination Publications*. L'Aquila, Italy. 2000; 2:105-112.
 25. Kyn-Hong Ahn. Performance comparison of direct membrane bioreactor for domestic wastewater treatment and water reuse. Proceeding of the conf. on Membranes, Paris, October 2000. *Desalination Publications*. L'Aquila, Italy. 2000; 2:313-322.
 26. Ahn K.H., Cha H.Y., Song K.G. Retrofitting municipal sewage treatment plants using an innovative membrane-bioreactor system. *Desalination*. 1999; 124(1-3):279-286. DOI: 10.1016/s0011-9164(99)00113-7
 27. Lozier J., Fernandez A. Using a membrane bioreactor/reverse osmosis system for indirect potable reuse. Proceeding of the conf. on Membranes, Paris, October 2000. *Desalination Publications*. L'Aquila, Italy. 2000; 2:297-311.
 28. Garcia-Ivars J., Dura-Maria J., Moscardo-Carreno C., Carbonell-Alcaina C., Alcaina-Miranda M.I., Iborra-Clar M.I. Rejection of trace pharmaceutically active compounds present in municipal wastewaters using ceramic fine ultrafiltration membranes: Effect of

feed solution pH and fouling phenomena. *Separation and Purification Technology*. 2017; 175:58-71. DOI: 10.1016/j.seppur.2016.11.027

29. Abdel-Jawad M., Ebrahim S., Al-Tabtabaei M., Al-Shammari S. Advanced technologies for municipal wastewater purification: technical and eco-

nomical assessment. *Desalination*. 1999; 124(1-3):251-261. DOI: 10.1016/s0011-9164(99)00110-1

30. Wetterau G., Fu P., Chalmers R.B. Optimisation of wastewater reverse osmosis — improving performance through more aggressive operation. *The International Desalination Association World Congress*.

Received December 2, 2019.

Adopted in a revised form on January 23, 2020.

Approved for publication April 28, 2020.

Поступила в редакцию 2 декабря 2019 г.

Принята в доработанном виде 23 января 2020 г.

Одобрена для публикации 28 апреля 2020 г.

B I O N O T E S: Aleksei G. Pervov — Doctor of Technical Sciences, Professor; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 168126; PervovAG@mgsu.ru;

Konstantin V. Tikhonov — technologist; **Design and survey research Bureau “GITEST” (PINIB “GITEST”)**; d. 43A Leningradskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 932145, SPIN-code: 1688-6751; Tikhonov.k.v@yandex.ru.

О Б А В Т О Р А Х: Алексей Германович Первов — доктор технических наук, профессор; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ID РИНЦ: 168126; PervovAG@mgsu.ru;

Константин Валерьевич Тихонов — технолог; **Проектно-исследовательское научно-исследовательское бюро «ГИТЕСТ» (ПИНИБ «ГИТЕСТ»)**; 125212, г. Москва, Ленинградское шоссе, д. 43А; ID РИНЦ: 932145, SPIN-код: 1688-6751; Tikhonov.k.v@yandex.ru.

**Совершенствование методов расчета нагрузок
от воздействия льда на гидротехнические сооружения**

В.А. Политько¹, С.В. Соломатин², А.И. Каракозова², П.А. Трусков³

¹ Арктик СПГ 2; г. Новый Уренгой, Россия;

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

³ Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд. (Сахалин Энерджи); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Корректность определения ледовых нагрузок имеет важнейшую роль при выборе архитектурных и конструктивных решений гидротехнических сооружений (ГС) и оказывает существенное влияние на экономическую эффективность реализации объекта строительства в целом. Из-за узкой географии использования, а также сравнительной новизны дисциплины использование метода конечных элементов (МКЭ) для моделирования льда не так развито, как для других материалов, таких как бетон и сталь, и мало используется при проектировании.

Материалы и методы. Выполнена классификация типов ледовой нагрузки по достаточности существующих нормативных требований для безопасного и экономически эффективного проектирования морских ГС с соответствующим выводом о необходимости применения МКЭ в случаях, когда нормативных требований недостаточно.

Результаты. На основании проведенного анализа сделаны выводы о возможности применения МКЭ для ряда типов ледового воздействия с целью повышения степени достоверности получаемых результатов. Покрытие всего спектра возможных типов ледовых нагрузок на ГС возможно при условии адаптации расширенного метода конечных элементов для льда, что является перспективной задачей.

Выводы. Разнообразные формы ледовых воздействий требуют специальных подходов при моделировании МКЭ. Апробированные методы моделирования покрывают не все формы ледового воздействия, тем самым делая расчет ледовой нагрузки, в целом, для всех вариантов загрузки невозможным. Для перехода от эмпирических оценок в проектировании к расчетам полной ледовой нагрузки при помощи МКЭ необходима доработка методов, учитывающих процесс трещинообразования в ледовом поле, что, в свою очередь, сделает возможным расчет нагрузки от торосов, от ровного льда на многоколонные сооружения, а также сделает более объективным учет архитектурных форм основания ГС в схеме восприятия ледовой нагрузки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ледовая нагрузка, МКЭ, гидротехнические сооружения, ISO 19906, метод удаления отдельных элементов, метод связывающих элементов, расширенный метод конечных элементов

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Политько В.А., Соломатин С.В., Каракозова А.И., Трусков П.А. Совершенствование методов расчета нагрузок от воздействия льда на гидротехнические сооружения // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 5. С. 701–711. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.701-711

**Ice loads on hydraulic engineering structures:
enhancement of analysis methods**

Valentin A. Politko¹, Sergey V. Solomatin², Anastasia I. Karakozova², Pavel A. Truskov³

¹ Arctic LNG 2; Novy Urengoi, Russian Federation;

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

³ Sakhalin Energy Investment Company Ltd. (Sakhalin Energy); Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. It is very important to properly analyze ice loads when selecting architectural and structural solutions for hydraulic engineering structures (HS), as this analysis has a significant impact on the economic efficiency of a construction project as a whole. Since this discipline is relatively new and relevant for certain geographical areas only, the use of the finite-element method is not common for the modeling of ice as compared to other materials, such as concrete and steel, and it is rarely used in design.

Materials and methods. Ice loads are classified into types subject to the availability of sufficient regulatory requirements ensuring safe and cost-effective design of offshore HS; the co-authors believe that FEM should be applied if there are no sufficient regulatory requirements in place.

Results. Based on the performed analysis the authors make a conclusion that FEM can be applied to certain types of ice loads to increase the accuracy of results. It is possible to cover the entire range of HS ice loads provided that the extended finite element method (X-FEM) is adapted to them, which is an ambitious task.

Conclusions. Different types of ice loads require specific approaches to be adopted whenever FEM is used for modeling purposes. Since proven modeling methods cannot be applied to all types of ice loads, it is impossible to make ice load calculations for all loading options. To convert empirical estimates, made in design engineering, to comprehensive analyses of ice loads using FEM one should revise methods of ice field cracking analysis to be able to analyze the loading produced by hummocks and flat ice and perceived by multi-column structures, so that one could take a better account of the architectural parameters of HS basements within the framework of the ice load perception analysis.

KEYWORDS: ice loads, finite-element analysis, hydraulic structures, ISO 19906, element erosion technique, cohesive element method, extended finite element method

FOR CITATION: Politko V.A., Solomatina S.V., Karakozova A.I., Truskov P.A. Ice loads on hydraulic engineering structures: enhancement of analysis methods. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(5):701-711. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.701-711 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия оценке ледовых воздействий на морские гидротехнические сооружения уделяется много внимания ввиду растущего объема деятельности человека в арктической зоне, где все более активно строятся объекты нефтегазовой отрасли, мосты, портовые и другие сооружения, подверженные ледовым нагрузкам. Как правило, в северных районах ледовые нагрузки превышают значения суммы всех остальных нагрузок, поэтому совершенствование методик определения ледовых нагрузок играет важную роль в повышении эффективности проектирования, например, морских ледостойких сооружений.

Морские нефтегазодобывающие платформы (рис. 1) являются наиболее ответственными сооружениями, относящимися к критически и стратегически важным объектам, и должны проектироваться таким образом, чтобы обеспечить защиту персонала, дорогостоящего оборудования и технических средств, а также экологическую безопасность региона в течение всего срока эксплуатации сооружений. Надежность, безопасность и экономичность платформ в существенной мере определяется достоверностью и эффективностью методов оценки внешних воздействий. Перечисленные факторы обуславливают необходимость использования передовых методик проектирования морских сооружений, в том числе и при определении ледовых нагрузок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Совершенствование нормативной базы и методик оценки ледовой нагрузки

Технические аспекты безопасности проектирования оснований платформ должны рассматриваться с позиций:

- совершенства нормативной базы;
- надежности и полноты исходных и расчетных данных;
- правильности выбора типа сооружения, материалов и методов строительства;



Рис. 1. «Сахалин Энерджи» — платформа «Лунская-А»
Fig. 1. “Sakhalin Energy”— “Lunskaya-A” platform.

• достоверности вычисленных нагрузок на сооружение.

В ISO 19906 «Petroleum and natural gas industries — Arctic offshore structures»¹ для расчета ледовой нагрузки на морские платформы и разработки проектной документации можно считать удовлетворительными следующие разделы:

- нагрузка в статической постановке от однолетнего ровного льда на цилиндрические вертикальные опоры;
- нагрузка на монокон от ровного льда.

Применительно к особенностям ледовых условий замерзающих морей России, отличающихся высокой динамикой ледяного покрова, требуются доработки по таким вопросам, как:

- нагрузка от однолетнего торося на вертикальную опору с учетом веса вытесненных обломков и трения льда по материалу опоры;
- динамика воздействия ровного льда на вертикальные опоры в динамической постановке (автоколебания);
- ударное воздействие ледовых образований;

¹ ISO 19906. Petroleum and natural gas industries — Arctic offshore structures // International Organization of Standardization. 1st edition. 2010. 474 p.

- нагрузка от действия льда на многоколонные опоры.

Таким образом, актуальность совершенствования методов расчета ледовых нагрузок на морские нефтегазопромысловые сооружения вызвана следующими причинами:

- спецификой конструкций и функциональной ответственностью объектов, связанной с требованиями безопасной работы обслуживающего персонала, экологической опасностью в случае их повреждения или аварии и высокой стоимостью объектов;
- недостаточностью существующей нормативной базы, не учитывающей особенности ледовых условий и конструктивные особенности проектируемых сооружений;
- сложной ледовой обстановкой, характеризующейся высокой динамикой ледяного покрова.

Решение данных вопросов возможно путем создания модели, описывающей ледовое воздействие с учетом всех его особенностей, таких как анизотропность ледовых образований, скопление обломков перед препятствием и др. Вопросы будут решены, если модель будет показывать соответствующий реальному вид разрушения льда перед преградой, в том числе форму, размеры и характеристики скоплений обломков, а также величины нагрузок, соответствующие натурным измерениям для каждого из особых случаев нагрузки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Развитие методик численного моделирования

С развитием компьютерных технологий стало возможным сделать следующий шаг в развитии новых способов оценки ледовых воздействий на морские сооружения, а именно численных методик.

Главным их преимуществом является комплексное исследование процесса взаимодействия ледового поля с сооружением с учетом физических, геометрических характеристик льда, характеристик сооружения, гидродинамических эффектов и грунтовых условий.

Стоит отметить, что численное моделирование ледовых воздействий на морские сооружения — достаточно новая научная область деятельности. Моделирование хрупкого разрушения с переходом льда из сплошной среды в дискретную (рис. 2), учет пространственной анизотропии льда, зон высокого давления в области контакта, учет гидродинамических эффектов — все эти признаки, присущие сложному поведению льда при его контакте с сооружением, представляют собой определенный вызов компьютерному моделированию, и на данный момент не существует моделей, способных в полной мере учесть всю специфику ледового воздействия.

Тем не менее практически с самого начала активного развития компьютерных технологий предпринимаются попытки и разрабатываются модели для численного моделирования ледовых воздействий. В разработке численных моделей особый интерес представляет метод конечных элементов (МКЭ) — инструмент, который позволяет решать многие задачи динамики и статики. Моделирование производят в различных доступных коммерческих программах, таких как ANSYS, LS-DYNA, ABAQUS.

Основные практические преимущества численного моделирования при помощи МКЭ:

1. Конечно-элементное (КЭ) численное моделирование может раскрыть неточности и некорректные допущения, присущие существующим эмпирическим методикам расчета ледовых нагрузок.

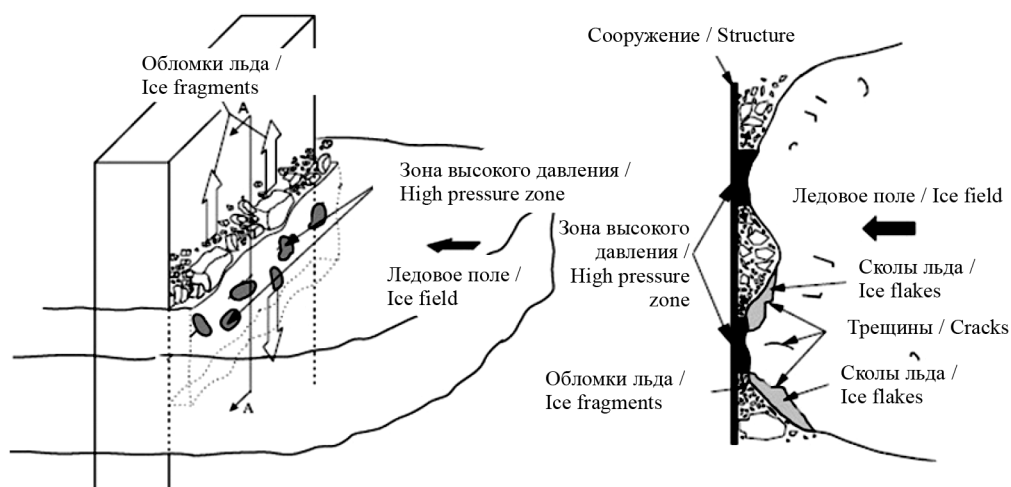


Рис. 2. Идеализированная картина хрупкого разрушения льда [1]

Fig. 2. Idealized representation of ice brittle fracture [1]

2. При помощи КЭ моделирования можно исследовать влияние на ледовую нагрузку следующих параметров:

- толщины, геометрии, скорости подвижки льда, анизотропии прочностных свойств льда;
- скопления ледовых обломков в зоне воздействия ледового поля на конструкцию;
- коэффициента трения между льдом и материалом контактной зоны;
- геометрии сооружения в плане и угла наклона конструкции на уровне ватерлинии;
- количества опор, ориентации и расстояния между ними.

3. КЭ моделирование в некоторых случаях может заменить дорогостоящее физическое моделирование.

Для подтверждения правильности моделирования, как правило, сравнивают полученные результаты с данными полевых (натурных) наблюдений. В качестве объектов моделирования многие исследователи используют сооружения платформы «Моликпак» (Канада/Россия) и маяка «Норстрем-стрюнд» (Швеция), где в свое время были установлены датчики давления в зоне воздействия ледового поля и опубликованы соответствующие результаты.

Практическая реализация моделирования ледовых воздействий МКЭ

Полноценное численное моделирование ледовых воздействий на морские сооружения возможно при условии, что определены следующие критически важные факторы [2–4]:

- выбрана модель льда, определяющая напряженно-деформированное состояние (НДС) льда при заданных нагрузках;
- определен алгоритм численного моделирования разрушения льда при взаимодействии с сооружением.

Наиболее часто взаимодействию льда с сооружением соответствует хрупкий характер разрушения ледового поля при достаточно высокой скорости подвижки льда. Такому взаимодействию характерны упругие деформации льда, за которыми следует хрупкое разрушение льда ввиду образования и развития микро- и макротрещин в зоне контакта льда с сооружением [4–6]. Процесс хрупкого разрушения льда с последующим вытеснением ледовых обломков из зоны контакта или, наоборот, с накоплением их перед сооружением наряду с учетом пространственной анизотропии льда и гидродинамических эффектов представляет собой наибольшую сложность для численного моделирования.

Различают два основных фундаментальных подхода к рассмотрению льда:

- как дискретного тела, состоящего из большого числа отдельных ледовых обломков;
- как сплошного тела.

При помощи метода дискретных элементов обычно моделируют ледовые образования, состоящие из ледовых обломков, к примеру, киль тороса либо ледовые нагромождения, собирающиеся там, где происходит хрупкое разрушение льда при его контакте с сооружением. В данном методе взаимодействие отдельных ледовых блоков моделируется при помощи таких моделей, как пружины и демпферы. Разрушение при этом происходит, когда удлинение пружины становится больше предельного.

Ледовое поле, как правило, рассматривается в качестве сплошного тела. Имеющийся на данный момент опыт моделирования хрупкого разрушения льда при его взаимодействии с сооружением предлагает несколько наиболее часто используемых моделей:

- модель удаления отдельных элементов (Element erosion technique);
- модель связывающих элементов (Cohesive element method) [6].

Оба подхода могут быть смоделированы в таких программных комплексах, как ANSYS, LS-DYNA, ABAQUS. Динамическое моделирование воздействия льда производится в явной постановке (модуль Explicit Dynamics).

Помимо этих двух моделей в целях моделирования хрупкого разрушения льда может использоваться расширенный МКЭ (extended finite element method X-FEM) [7].

Особый интерес вызывает последняя модель (X-FEM), так как она предлагает возможность моделировать развитие трещин в произвольном направлении в теле материала вне зависимости от КЭ сетки. В основе данного метода лежит теория деления конечного элемента, представленная Меленком в 1996 [8]. В законченном виде метод сформулирован в работах [9, 10].

Концепция модели удаления отдельных элементов

Модель удаления отдельных элементов обладает рядом существенных упрощений и допущений. Ледовое поле моделируется как сплошное тело в МКЭ, и ему назначается некая модель (закон НДС под нагрузкой, критерий разрушения). Когда под действием внешних сил наступает предельное состояние отдельных элементов модели ледового поля, они автоматически удаляются из модели (конечным элементам автоматически присваивается нулевая жесткость). Таким образом моделируется процесс хрупкого разрушения ледового поля методом удаления отдельных элементов. Одним из ос-

новных недостатков данного метода является то, что разрушенные элементы ледового поля удаляются из модели и не участвуют в дальнейшем процессе моделирования ледового воздействия. Эффект скопления ледовых обломков, а также процесс их выдавливания из зоны контакта ледовым полем не учитываются, что снижает точность моделирования и оценки ледовых нагрузок. Моделирование таких процессов, как нагрузка от однолетнего тороса на вертикальную опору с учетом веса вытесненных обломков и трения льда по материалу опор, динамика воздействия ровного льда на вертикальные опоры в динамической постановке (автоколебания) и нагрузка от действия льда на многоколонные опоры, выполнено быть не может. Графически пример моделирования методом удаления отдельных элементов представлен на рис. 3.

Метод связывающих элементов

Метод связывающих элементов не является новым. Он широко используется на протяжении долгого времени в области механики хрупкого разрушения для моделирования возникновения и распространения трещин в твердых деформируемых телах, таких как металл и бетон. Использование данного метода для изучения процесса хрупкого разрушения льда было впервые предложено исследователями Дэмси и Мюлме (1998) [12, 13]. Многие исследователи с тех пор применяли этот метод в целях численного моделирования ледовых динамиче-

ских и статических воздействий на морские сооружения (Гютнер [5], Санд [6], Дерраджи [4], Шхинек [14], и др.).

Основные положения метода

Ледовое поле строится в КЭ модели и состоит из основных и связывающих вертикальных и горизонтальных элементов, как изображено на рис. 4. В качестве основных элементов принимается само ледовое поле, разбитое на n -ное количество конечных элементов. Связывающие элементы в модели ледового поля играют роль трещин. При достижении критических напряжений трещины раскрываются путем удаления связывающих элементов. В целях упрощения и сокращения времени моделирования иногда связующие элементы устанавливаются только в области льда, близкой к зоне контакта, как изображено на рис. 5.

Анизотропия льда учитывается путем назначения различных характеристик вертикальным и горизонтальным связывающим элементам.

Поскольку процесс трещинообразования в КЭ модели льда становится возможным только в плоскостях связывающих элементов, результаты численного моделирования становятся зависимыми от размеров сетки КЭ, на которую разбивается ледовое поле [16, 17]. Таким образом, в процессе моделирования необходимо проводить ряд расчетов для анализа чувствительности результатов моделирования от размеров сетки [18].

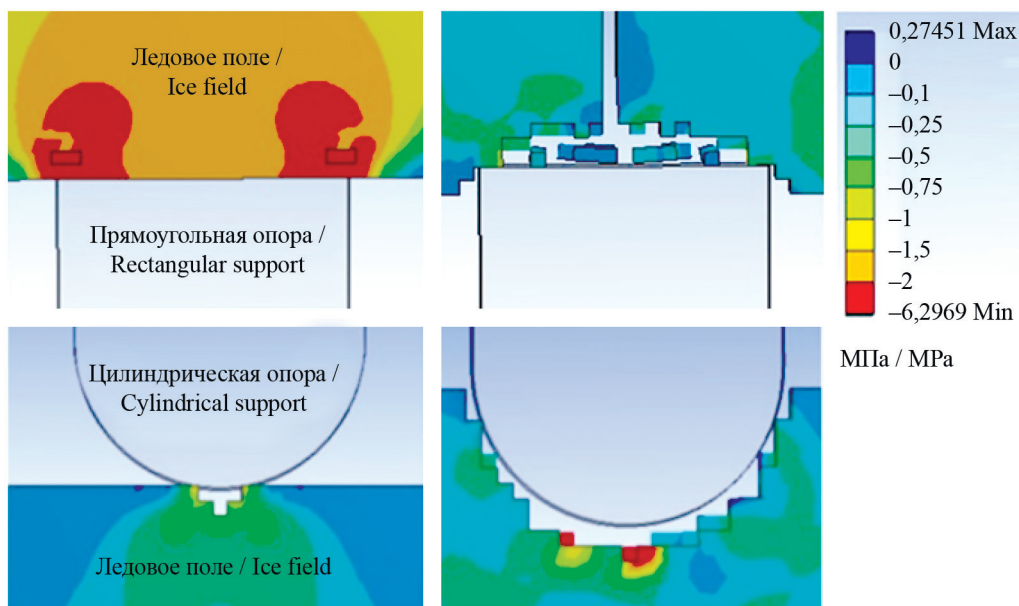


Рис. 3. Моделирование внедрения опоры сооружения в ледовое поле. Поля главных напряжений ледового поля: при воздействии льда на опору прямоугольной и цилиндрической формы [11]

Fig. 3. The modelling of the process of structural support setting into an ice field. Main stresses arising in the ice field when rectangular and cylindrical supports are exposed to ice [11]

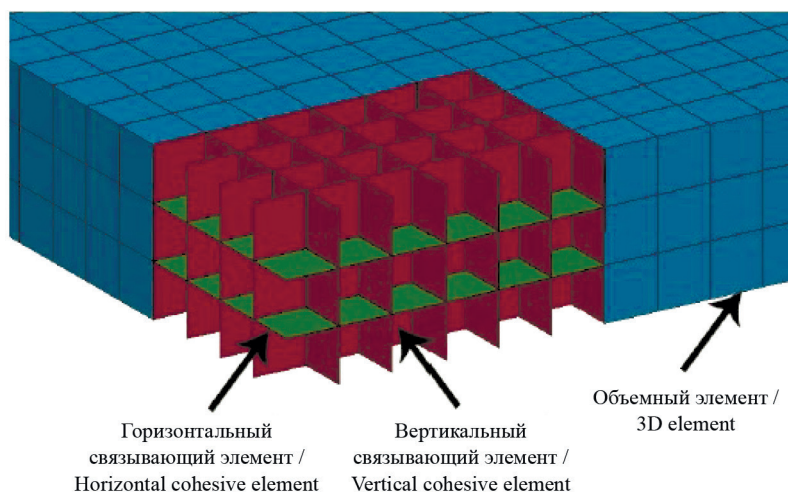


Рис. 4. Основные и связывающие элементы в модели ледового поля по методу связывающих элементов [15]
 Fig. 4. Main and cohesive elements in an ice field model developed using the cohesive elements method [15]

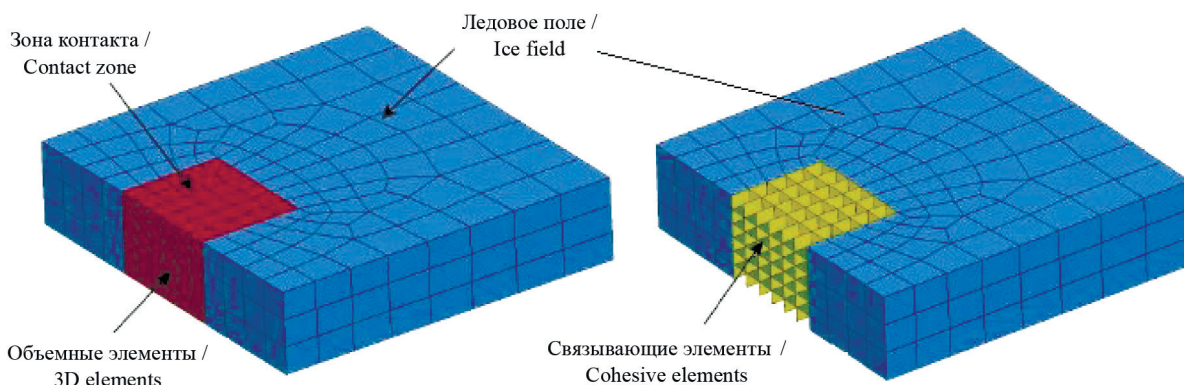


Рис. 5. Конечно-элементная модель ледового поля в методе связывающих элементов [15]
 Fig. 5. The finite element model of an ice field developed using the cohesive elements method [15]

На рис. 6, 7 представлены результаты численного моделирования при помощи метода связывающих элементов и физического моделирования воздействия льда на ряд сооружений, проведенных Гютнером [15]. Видно, что формы разрушения смоделированного льда совпадают с результатами, полученными в лаборатории при помощи физического моделирования. Данный факт говорит в пользу методики связывающих элементов как об инструменте, способном с высокой степенью достоверности моделировать ледовые воздействия.

Еще один наглядный пример численного моделирования с учетом хрупкого разрушения льда показан на рис. 8.

Подводя итог вышесказанному, в основе метода связывающих элементов лежит принцип включения связывающих элементов между основными конечными элементами, на которые разбито ледовое поле. Связывающие элементы играют роль трещин и при наличии критических растягивающих на-

пряжений раскрываются, подчиняясь закону растяжения и деформаций [19]. В модели раскрытие трещин происходит путем удаления связывающего элемента, когда расстояние между узлами соседних основных конечных элементов достигает максимума. Взаимодействие между ледовыми обломками, образовавшимися в результате трещинообразования, моделируется при помощи метода дискретных элементов с учетом сил трения и давления, оказываемых ледовыми обломками друг на друга.

Расширенный МКЭ X-FEM

Расширенный МКЭ был предложен Тэдом Белычко в 1999 г. с целью расширения возможностей МКЭ в плане учета и моделирования процессов трещинообразования [7]. В то время как традиционные КЭ модели могут моделировать развитие трещин только между объемными элементами модели (при помощи связующих элементов), расширенный метод позволяет моделировать развитие трещин

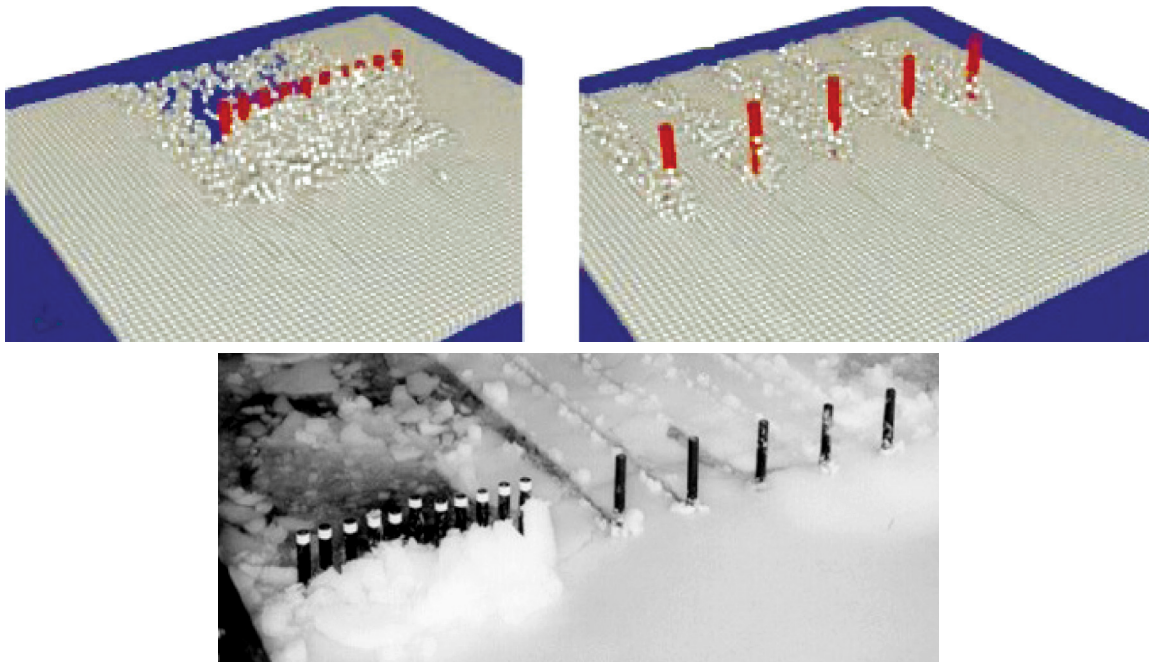


Рис. 6. Численное и физическое моделирование разрушения ледового поля при взаимодействии с системой вертикальных свай [15]

Fig. 6. Numerical and physical modeling of ice field destruction following interaction with a system of vertical piles [15]

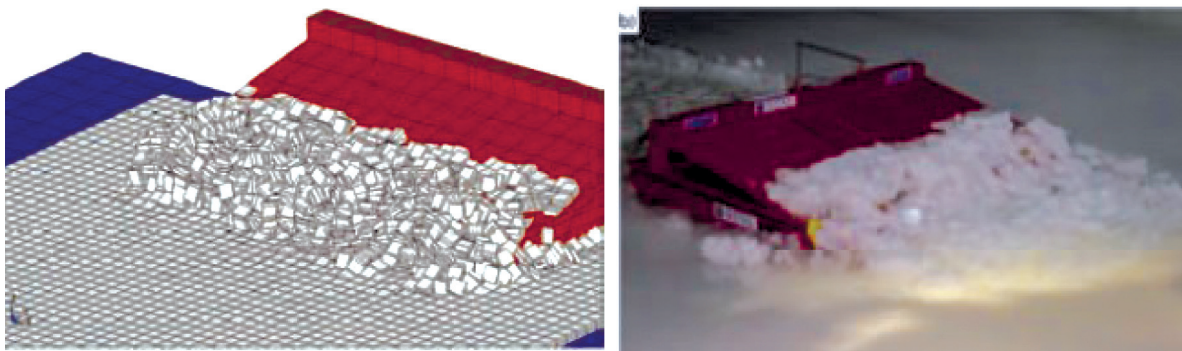


Рис. 7. Численное и физическое моделирование разрушения ледового поля при взаимодействии с наклонной преградой [15]

Fig. 7. Numerical and physical modeling of ice field destruction following interaction with an inclined obstacle [15]

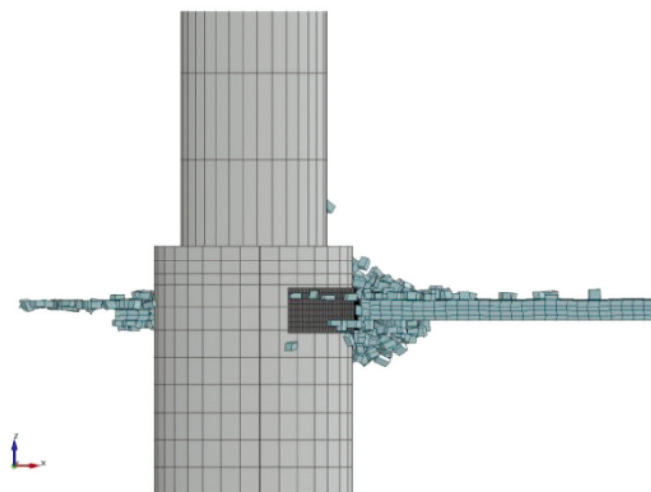


Рис. 8. Пример численного моделирования разрушения ледового поля о вертикальную опору маяка [16]

Fig. 8. Numerical simulation of ice field destruction by a vertical support of a lighthouse [16]

в произвольном направлении в теле материала вне зависимости от КЭ сетки. Данный метод использует в своей основе теорию деления конечного элемента, разработанную Меленком в 1996 г. [8]. Процесс развития трещин при использовании расширенного метода конечных элементов изображен на рис. 9.

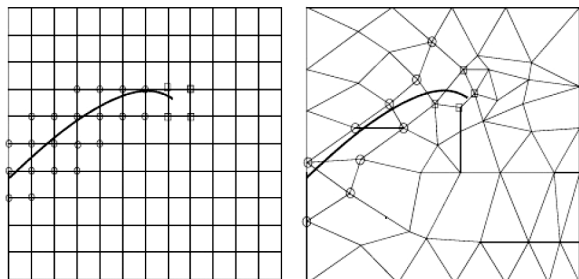


Рис. 9. Процесс развития трещин в расширенном МКЭ [7]
Fig. 9. Crack development process simulation using the extended finite element method [7]

Использование расширенного МКЭ является одним из наиболее перспективных направлений в области моделирования развития трещин в твердых деформируемых телах. На данный момент имеется успешный опыт моделирования развития трещин при помощи X-FEM в таких телах, как бетон и сталь. Данный метод моделирования уже представлен в некоторых коммерческих программах (например, ABAQUS [20]). Таким образом, моделирование хрупкого разрушения льда при взаимодействии с сооружением с использованием расширенного МКЭ X-FEM может стать мощным инструментом для оценки ледового воздействия на гидротехнические сооружения, например, при расчете величины воздействия на многоколонные сооружения, где форма первой трещины имеет высокую степень влияния на результирующую нагрузку, а соответствующая форма разрушения льда перед препятствием не может быть смоделирована методом связывающих элементов (рис. 10).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для проектирования сооружений в арктической зоне крайне важным является вопрос достоверной оценки величины ледового воздействия, которая существенным образом влияет как на безопасность проектируемых сооружений, так и на стоимость строительства объектов.

Обзор применимых для оценки ледовых воздействий КЭ моделей позволил сформулировать выводы о том, насколько каждая из моделей способна повторить процесс разрушения льда при воздействии на сооружение, и показать достоверные результаты.

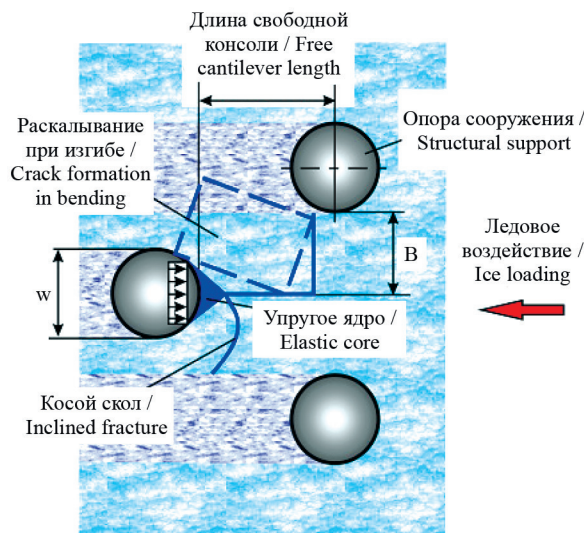


Рис. 10. Схема разрушения ледовой полосы перед затененной колонной
Fig. 10. Pattern of ice strip destruction in front of a shaded column

Самая простая в реализации модель — модель удаления отдельных элементов (Element erosion technique). Хрупкое разрушение и раскрытие трещин в этой модели учитывается путем удаления отдельных конечных элементов при достижении ими критерия разрушения. Модель достаточна для оценки воздействия от ровного льда на сооружения с простой геометрией (на вертикальную стенку), для случаев, когда скопление ледовых обломков несущественно влияет на итоговую ледовую нагрузку.

Для моделирования более сложных видов взаимодействия, в том числе воздействия торосистых образований, взаимодействия ледового поля с многоколонными и наклонными сооружениями, более перспективными являются следующие модели:

- модель связывающих элементов (Cohesive Element Method);
- расширенный МКЭ (Extended Finite Element Method X-FEM).

Данные модели способны учитывать развитие микро- и макротрещин в теле ледового поля, что является важной характеристикой процесса деформирования и разрушения льда при контакте с гидротехническими сооружениями и в значительной степени влияет на итоговую ледовую нагрузку.

Стоит отдельно выделить перспективность использования метода X-FEM с целью моделирования хрупкого разрушения льда. В отличие от прочих описанных методов, где развитие трещин возможно только на границе соседних объемных элементов КЭ модели, в расширенном МКЭ X-FEM развитие трещины возможно в любом направлении сквозь объемные конечные элементы. Это стало возможным путем внедрения в КЭ модель функций, обога-

шающих КЭ аппроксимацию (enrichment functions), по теории, разработанной Меленком в 1996 г. [8]. Этот метод считается многообещающим в контексте моделирования хрупкого разрушения льда. Поэтому с целью широкого использования данного метода требуется его дальнейшая верификация с данными натурных и лабораторных измерений ледовых воздействий на сооружения (или их модели).

В настоящее время в сфере проектирования морских ледостойких сооружений в России МКЭ практически не используется, так же, как и не используются в полном объеме существующие нормативные документы. Для оценки ледовых нагрузок на сооружения разрабатываются специальные технические условия, включающие в себя совокупность соответствующих требований, взятых из различных источников, в том числе научных статей и публикаций, относящихся к рассматриваемому типу сооружения. Результатом такого подхода, как

правило, являются традиционные консервативные оценки с их упрощенными схемами приложения к сооружениям, что, в свою очередь, не отвечает современным проектным требованиям экологической и экономической эффективности. Переход от консервативных методов расчета ледовых нагрузок к компьютерному моделированию сдерживается, в том числе, выбором оптимальной и общепринятой расчетной модели ледяного поля, учитывающей вариативность форм ледовых образований и возможных типов сооружений. Обзор научных исследований, выполненный в настоящей статье, призван в полной мере раскрыть сильные и слабые стороны существующих в мировой практике и перспективных компьютерных моделей, позволяющих инженерам-проектировщикам существенно повысить эффективность решения расчетных задач по определению ледовых нагрузок на морские сооружения с использованием МКЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Jordaan I.* Mechanics of ice-structure interaction // *Engineering Fracture Mechanics*. 2001. Vol. 68. Issue 17–18. Pp. 1923–1960. DOI: 10.1016/S0013-7944(01)00032-7
2. *Martonen P., Derradji-Aouat A., Maattanen M., Surkov G.* Non-Linear Finite Elements Simulations of Level Ice Forces on Offshore Structures Using a Multi Surface Failure Criterion // *Proc. of the 17th International Conference on POAC*. 2003.
3. *Derradji-Aouat A.* Explicit FEA and constitutive modeling of damage and fracture in polycrystalline ice — simulations of ice loads on offshore structures // *Proc. of the 17th International Conference on POAC*. 2005.
4. *Derradji-Aouat A.* Critical Roles of Constitutive Laws and Numerical Models in the Design and Development of Arctic Offshore Installations: report of National Research Council of Canada, Institute of Ocean Technology. Canada, 2009.
5. *Gurtner A.* Experimental and Numerical Investigations of Ice-structure Interaction. Thesis for the degree of philosophy doctor, Norwegian University of Science and Technology. Trondheim, 2009.
6. *Sand B.* Nonlinear finite element simulations of ice forces on offshore structures. Thesis for the degree of philosophy doctor, Lulea University of Technology. Lulea, 2008.
7. *Moes N., Belytschko T.* Extended finite element method for cohesive crack growth // *Engineering Fracture Mechanics*. 2002. Vol. 69. Issue 7. Pp. 813–833. DOI: 10.1016/S0013-7944(01)00128-x
8. *Melenk J.M., Babushka I.* The partition of unity finite element method: basic theory and applications // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 1996. Vol. 139. Issue 1–4. Pp. 289–314. DOI: 10.1016/S0045-7825(96)01087-0.
9. *Belytschko T., Black T.* Elastic crack growth in finite elements with minimal remeshing // *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 1999. Vol. 45. Issue 5. Pp. 601–620. DOI: 10.1002/(sici)1097-0207(19990620)45:5<601:aid-nme598>3.0.co;2-s
10. *Moes N., Dolbow J., Belytschko T.* A finite element method for crack growth without remeshing // *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 1999. Vol. 46. Issue 1. Pp. 131–150. DOI: 10.1002/(sici)1097-0207(19990910)46:1<131:aid-nme726>3.0.co;2-j
11. *Политько В.А., Кантаржи И.Г.* Численное моделирование воздействия ледовых полей на гидротехнические сооружения // *Строительство — формирование среды жизнедеятельности* : сб. тр. XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. М. : МГСУ, 2017. С. 1184–1187.
12. *Mulmule S., Dempsey J.* A viscoelastic fictitious crack model for the fracture of sea ice // *Mechanics of Time-Dependent Materials*. 1997. Vol. 1. Issue 4. Pp. 331–356. DOI: 10.1023/a:1008063516422.
13. *Mulmule S.V., Dempsey J.P.* Stress-Separation Curves for Saline Ice Using Fictitious Crack Model // *Journal of Engineering Mechanics*. 1997. Vol. 123. Issue 8. Pp. 870–877. DOI: 10.1061/(asce)0733-9399(1997)123:8(870)
14. *Солганик Е.А., Шхинек К.Н.* Вибрация шельфовых сооружений при действии льда // *Ин-*

женерно-строительный журнал. 2014. № 4 (48). С. 72–88. DOI: 10.5862/МСЕ.48.8

15. Gurtner A., Bjerkas M., Forsberg J., Hilding D. Numerical modeling of a full scale ice event // Proc. 20th IAHR International Symposium on Ice. 2010.

16. Bergan P., Cammaert G., Skeie G. On the potential of computational methods and numerical simulation in ice mechanics // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2010. Vol. 10. P. 012102. DOI: 10.1088/1757-899x/10/1/012102

17. Hilding D., Forsberg J., Gurtner A. Simulatoin of ice action loads on offshore structures // 8th European LS-DYNA Users Conference. Strasbourg, 2011.

18. Dianshi Feng, Jin Zhang, Kim Thow Yap, Sze Dai Pang. Influence of Cohesive Stiffness on Cohesive Element Method Based Simulation of Ice-Structure Interaction // Proc. 24th IAHR international Symposium on Ice. 2018.

19. Tvergaard V., Hutchinson J.W. The relation between Crack Growth Resistance and Fracture Process Parameters in Elastic-Plastic Solids. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. 1992; 40(6):1377-1397. DOI: 10.1016/0022-5096(92)90020-3

20. Zhen-zhong Du. eXtended Finite Element Method (XFEM) in Abaqus. URL: <http://www.simulia.com/download/rum11/UK/Advanced-XFEM-Analysis.pdf>

Поступила в редакцию 21 февраля 2020 г.

Принята в доработанном виде 7 апреля 2020 г.

Одобрена для публикации 28 апреля 2020 г.

ОБ АВТОРАХ: Валентин Александрович Политько — кандидат технических наук, эксперт по основаниям гравитационного типа (ОГТ); Арктик СПГ 2; 629305, Ямало-Ненецкий а.о., г. Новый Уренгой, ул. Юбилейная, д. 5; РИНЦ ID: 830433; politko@mail.ru;

Сергей Викторович Соломатин — аспирант; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; stroimeh@mgsu.ru;

Анастасия Ивановна Каракозова — кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры строительной и теоретической механики; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 662554; KarakozovaAI@mgsu.ru;

Павел Анатольевич Трусков — доктор технических наук, начальник отдела; Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд. (Сахалин Энерджи); 123242, г. Москва, Новинский б-р, д. 31; Pavel.Truskov@sakhalinenergy.ru.

REFERENCES

1. Jordaan I. Mechanics of ice-structure interaction. *Engineering Fracture Mechanics*. 2001; 68(17-18):1923-1960. DOI: 10.1016/s0013-7944(01)00032-7 (rus.).

2. Martonen P., Derradji-Aouat A., Maattanen M., Surkov G. Non-Linear Finite Elements Simulations of Level Ice Forces on Offshore Structures Using a Multi Surface Failure Criterion. *Proc. of the 17th International Conference on POAC*. 2003.

3. Derradji-Aouat A. Explicit FEA and constitutive modeling of damage and fracture in polycrystalline ice — simulations of ice loads on offshore structures. *Proc. of the 17th International Conference on POAC*. 2005.

4. Derradji-Aouat A. *Critical Roles of Constitutive Laws and Numerical Models in the Design and Development of Arctic Offshore Installations*: report of National Research Council of Canada, Institute of Ocean Technology. Canada, 2009.

5. Gurtner A. *Experimental and Numerical Investigations of Ice-structure Interaction*. Thesis for the

degree of philosophy doctor, Norwegian University of Science and Technology. Trondheim, 2009.

6. Sand B. *Nonlinear finite element simulations of ice forces on offshore structures*. Thesis for the degree of philosophy doctor, Lulea University of Technology. Lulea, 2008.

7. Moes N., Belytschko T. Extended finite element method for cohesive crack growth. *Engineering Fracture Mechanics*. 2002; 69(7):813-833. DOI: 10.1016/s0013-7944(01)00128-x

8. Melenk J.M., Babushka I. The partition of unity finite element method: basic theory and applications. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 1996; 139(1-4):289-314. DOI: 10.1016/s0045-7825(96)01087-0

9. Belytschko T., Black T. Elastic crack growth in finite elements with minimal remeshing. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 1999; 45(5):601-620. DOI: 10.1002/(sici)1097-0207(19990620)45:5<601:aid-nme598>3.0.co;2-s

10. Moes N., Dolbow J., Belytschko T. A finite element method for crack growth without remeshing.

International Journal for Numerical Methods in Engineering. 1999; 46(1):131-150. DOI: 10.1002/(sici)1097-0207(19990910)46:1<131:aid-nme726>3.0.co;2-j

11. Politko V.A., Kantargi I.G. Numerical modeling of the impact of ice fields on hydraulic structures. *Construction — the formation of the living environment: Proceedings of the XX International Interuniversity Scientific and Practical Conference of students, undergraduates, graduate students and young scientists*. Moscow, MGSU, 2017; 1184-1187. (rus.).

12. Mulmule S., Dempsey J. A viscoelastic fictitious crack model for the fracture of sea ice. *Mechanics of Time-Dependent Materials*. 1997; 1(4):331-356. DOI: 10.1023/a:1008063516422

13. Mulmule S.V., Dempsey J.P. Stress-Separation Curves for Saline Ice Using Fictitious Crack Model. *Journal of Engineering Mechanics*. 1997; 123(8):870-877. DOI: 10.1061/(asce)0733-9399(1997)123:8(870)

14. Salganik E.A., Shkhinek S.K. Ice induced vibrations of offshore structures. *Magazine of Civil Engineering*. 2014; 4(48):72-88. DOI: 10.5862/MCE.48.8 (rus.).

15. Gurtner A., Bjerkas M., Forsberg J., Hilding D. Numerical modeling of a full scale ice event. *Proc. 20th IAHR International Symposium on Ice*. 2010.

16. Bergan P., Cammaert G., Skeie G. On the potential of computational methods and numerical simulation in ice mechanics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2010; 10:012102. DOI: 10.1088/1757-899x/10/1/012102

17. Hilding D., Forsberg J., Gurtner A. Simulation of ice action loads on offshore structures. *8th European LS-DYNA Users Conference*. Strasbourg, 2011.

18. Dianshi Feng, Jin Zhang, Kim Thow Yap, Sze Dai Pang. Influence of Cohesive Stiffness on Cohesive Element Method Based Simulation of Ice-Structure Interaction. *Proc. 24th IAHR international Symposium on Ice*. 2018.

19. Tvergaard V., Hutchinson J.W. The relation between Crack Growth Resistance and Fracture Process Parameters in Elastic-Plastic Solids. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. 1992; 40(6):1377-1397. DOI: 10.1016/0022-5096(92)90020-3

20. Zhen-zhong Du. *eXtended Finite Element Method (XFEM) in Abaqus*. URL: <http://www.simulia.com/download/rum11/UK/Advanced-XFEM-Analysis.pdf>

Received February 21, 2020.

Adopted in a revised form on April 7, 2020.

Approved for publication April 28, 2020.

BIONOTES: **Valentin A. Politko** — Candidate of Technical Sciences, Gravity Based Structures expert; **Arctic LNG 2**; 5 Yubileynaya st., Novy Urengoi, 629305, Russian Federation; politko@mail.ru;

Sergey V. Solomatin — postgraduate; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 830433; stroimeh@mgsu.ru;

Anastasia I. Karakozova — Candidate of Technical Sciences, senior lecturer of the Department of Construction and Theoretical Mechanics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 662554; KarakozovaAI@mgsu.ru;

Pavel A. Truskov — Doctor of Technical Sciences, Head of Department; **Sakhalin Energy Investment Company Ltd. (Sakhalin Energy)**; 31 Novinsky Boulevard, Moscow, 123242, Russian Federation; Pavel.Truskov@sakhalinenergy.ru.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 711.643+64.011.323

DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.712-728

Определение расходов топливно-энергетических ресурсов при производстве механизированных работ в малоэтажном строительстве

Е.А. Король, А.А. Журавлева

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Малоэтажное домостроение — перспективный сегмент развития жилищного строительства в России. Одной из приоритетных задач государственной политики РФ является повышение энергетической эффективности в различных отраслях народного хозяйства. Учитывая то, что в общем жизненном цикле стадия возведения зданий, несмотря на сравнительно небольшой временной период, является емким потребителем энергоресурсов, вопрос энергосбережения в период возведения зданий становится особенно актуальным. Преобладание ручного труда, а также использование маломощной строительной техники существенно влияют на сокращение энергопотребления на стадии возведения малоэтажных жилых зданий. Широкое распространение различных технологий малоэтажного строительства и, как следствие, различия в конструктивно-технологических решениях сказываются на особенностях применения строительных машин и механизмов, определении их количества и необходимых технических показателей. В этой связи формируются соответствующие расходы энергоресурсов при производстве механизированных работ на строительной площадке, которые могут отличаться. С позиции рационального энергопотребления целесообразно учитывать расходы топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на этапе планирования строительства.

Материалы и методы. Проведен анализ научных публикаций по теме исследования, применены построенные организационно-технологические модели в виде графиков производства работ для выполнения расчетов по расходу ТЭР при производстве механизированных работ по технологиям малоэтажного строительства.

Результаты. Предложен инструментарий по подсчету расходов ТЭР при производстве работ на строительной площадке, определена наиболее энергозатратная технология малоэтажного жилищного строительства, выделены энергоемкие строительные машины по каждой рассматриваемой технологии малоэтажного домостроения.

Выводы. Приведенный способ определения энергопотребления машинами и механизмами на стадии планирования позволяет обозначить структуру расходов ТЭР для отдельных строительных работ в составе комплексного технологического процесса по возведению здания, определить наиболее энергорациональные технологии и низкоэнергозатратные механизированные средства для производства работ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: малоэтажное строительство, энергопотребление, энергозатраты, топливно-энергетические ресурсы, машины и механизмы, механизированные работы, строительная площадка

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Король Е.А., Журавлева А.А. Определение расходов топливно-энергетических ресурсов при производстве механизированных работ в малоэтажном строительстве // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 5. С. 712–728. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.712-728

On estimating the amount of fuel and energy consumable in the process of mechanized work performance within the framework of low-rise construction

Elena A. Korol', Anastasia A. Zhuravleva

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

ABSTRACT

Introduction. Low-rise housing construction is an area that has extensive potential in Russia. One of the top-priority objectives, pursued by public politicians in the Russian Federation, is to improve the energy efficiency of versatile branches of the national economy. Given the fact that the building construction, representing a comparatively short stage in the building's life cycle, is energy consuming, energy saving in the process of construction turns particularly relevant. Prevailing manual labour and low-capacity construction machinery substantially reduce power consumption at the stage of low-rise housing construction. Widely spread low-rise construction technologies and consequent discrepancies in structural and technological solutions determine the mode of operation, numbers and the engineering performance of construction machines. Hence, energy resources, to be consumed in the process of mechanized work performance on a construction site, is projected, and

these projections may differ. As for the rational expenditure of resources, consumption of fuel and energy can be expediently planned at the stage of construction project scheduling.

Materials and methods. The co-authors have analyzed scientific publications focused on the subject of research, applied organizational and construction process patterns developed in the form of work performance schedules needed to regulate fuel consumption in the process of mechanized work performance, whenever low-rise construction technologies are used.

Results. The co-authors offer a set of instruments, designated for the calculation of fuel consumption in the process of mechanized work performance, whenever low-rise construction technologies are used.

Conclusions. At the project planning stage, the fuel consumption rate analysis, applicable to construction machines and mechanisms, enables to (1) project the amount of fuel consumed in the course of specific construction works performed within the framework of the whole process of construction, (2) to identify technologies and mechanized units which are most rational in terms of power consumption.

KEY WORDS: low-rise construction, power consumption, energy expenditure, fuel resources, machines and mechanisms, mechanized work, construction site

FOR CITATION: Korol' E.A., Zhuravleva A.A. On estimating the amount of fuel and energy consumable in the process of mechanized work performance within the framework of low-rise construction. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(5):712-728. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.712-728 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Малоэтажное жилищное строительство — перспективное направление развития строительной отрасли в России, о чем свидетельствует ряд научных публикаций по данной теме [1–3], а также исследований, затрагивающих вопросы развития малоэтажного домостроения с позиции государственных и региональных программ [4–6]. С введением федеральной программы «Жилище» и государственной программы «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации» пригородные территории активно застраиваются малоэтажными жилыми зданиями. При этом одной из приоритетных задач государственной политики РФ по развитию национальной экономики является повышение энергетической эффективности и энергосбережения во всех отраслях народного хозяйства и производства.

Проведенный анализ научных работ по проблеме энергосбережения [7–9] продемонстрировал, что строительное производство — энергоемкий потребитель ресурсов. Увеличение доли малоэтажной жилой застройки в общем объеме жилищного строительства определяет необходимость в проведении сравнительной оценки расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на этапе возведения зданий. Обзор и анализ российских публикаций [10–12], а также зарубежных исследований по оценке развития [13–15] и эффективности [16–18] применения программ по сокращению расходования энергоресурсов показали, что вопросы энергосбережения в период строительства зданий изучены недостаточно. Кроме этого, принятый Федеральный закон № 261-ФЗ от 23.11.2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» устанавливает требования по обеспечению эффективного использования энергетических ресурсов, что подтверждает необходимость повышения энергетической эффек-

тивности, в том числе и в малоэтажном жилищном строительстве.

В настоящее время в малоэтажном домостроении применяются различные отечественные и адаптированные к российским условиям строительства материалы и технологии, к ним относятся: мелкоштучные (кирпич, камень, легкобетонные блоки), деревянные (брусчатые, каркасные), а также энергоэффективные технологии строительства — панельная технология с применением SIP-панелей [19–21] и комбинированная технология возведения несущих стен здания из блоков несъемной пенополистирольной опалубки [22–23], преимуществам которых посвящено достаточное количество зарубежных исследований. В результате применения выбранной технологии строительства формируется структура затрат топливно-энергетических ресурсов, расходуемых энергопотребителями непосредственно на строительной площадке.

Следует отметить, что вопросы потребления энергоресурсов на строительной площадке при возведении зданий затрагивались ранее в диссертации [24], а также в публикациях [25–27], однако данные работы не многочисленны.

Согласно приведенной в статье классификации [28], к основным потребителям энергетических ресурсов при производстве работ по возведению зданий относятся:

- строительные машины, оборудование и инструмент;
- инфраструктура внутриплощадочных объектов (строительная площадка и бытовой городок);
- оборудование для обеспечения качества технологических процессов (прогрев бетона, кирпичной кладки и т.д.).

Поскольку современный сектор малоэтажной застройки по характеру возведения представлен как жилыми домами индивидуальной постройки, так и комплексами зданий в виде коттеджных поселков [29], количество и структура энергопотребителей могут существенно отличаться. Так, в индивидуальном жилищном строительстве отсутствует не-

обходимость в организации бытового городка, что влияет на сокращение энергопотребления в период возведения зданий. В этой связи строительные машины, оборудование и инструмент в индивидуальном домостроении являются основными потребителями ТЭР при строительстве зданий.

Современное строительное производство следует рассматривать как комплексно-механизированный процесс выполнения строительных работ [30], которые выполняются с применением различных машин и механизмов. Любые технологические строительные процессы как комплексные, так и простые, можно классифицировать по степени их механизации:

- механизированные — выполняемые с помощью строительных машин;
- полумеханизированные — выполняемые с применением как машин, так и ручного труда;
- ручные — выполняемые с помощью механизированных инструментов¹.

В данном случае потребление энергоресурсов характеризуется параметрами мощностей и количеством необходимых для производства строительных работ машин и механизмов, которые задают вектор энергопотребления в малоэтажном жилищном строительстве.

Возведение малоэтажных жилых зданий, как правило, связано с преимущественным преобладанием ручного труда и строительной техники с низким энергопотреблением, однако потребление ТЭР может быть значительно выше при производстве работ по технологиям малоэтажного домостроения

¹ Теличенко В.И., Терентьев О.М., Липидус А.А. Технологии строительных процессов : учебник для строительных вузов. В 2-х ч. Ч. 1. М. : Высшая школа, 2005. 392 с.

с применением индустриальных изделий или высокой интенсификацией строительных процессов. При этом увеличение энергопотребления зависит от выбранного географического местоположения района строительства и его климатических особенностей, а также времени года (сезонности). Данные факторы следует учитывать на стадии планирования строительства. В результате, особенности выбранных технологий возведения малоэтажных жилых зданий формируют структуру энергопотребления при производстве механизированных работ на строительной площадке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследования были приняты технологии, наиболее часто используемые в практике малоэтажного домостроения:

- возведение здания из кирпича (вариант № 1);
- возведение здания из керамзитобетонных блоков (вариант № 2);
- возведение здания из пенополистирольных блоков несъемной опалубки с заполнением межопалубочного пространства легковесной смесью (вариант № 3);
- возведение зданий из SIP-панелей (вариант № 4).

В качестве объекта исследования выбран проект малоэтажного жилого здания общей площадью 190 м². Прямоугольная форма здания позволяет применять рассматриваемые технологии.

На начальном этапе исследования систематизированы основные конструктивные элементы здания применительно к рассматриваемым технологиям малоэтажного домостроения, которые приведены в табл. 1.

Табл. 1. Конструктивные решения возведения здания по технологиям малоэтажного строительства

Table 1. Structural solutions designated for erecting buildings using low-rise construction technologies

Конструктивная часть здания / Building element	Технологии / Technologies			
	Вариант № 1 / Option 1	Вариант № 2 / Option 2	Вариант № 3 / Option 3	Вариант № 4 / Option 4
	Конструктивные решения / Structural solutions			
Фундамент / Foundation	Ленточный сборный из фундаментных блоков / Strip prefab foundation made of foundation blocks	Ленточный мелкозаглубленный сборный из фундаментных блоков / Shallow strip prefab foundation made of foundation blocks	Ленточный мелкозаглубленный сборный из фундаментных блоков / Shallow strip prefab foundation made of foundation blocks	Свайный / Pile foundation
Стены / Walls	Кирпичные / Brick walls	Из керамзитобетонных блоков / LECA block walls	Из блоков несъемной опалубки с заполнением межопалубочного пространства легковесной смесью / Walls made of stay-in-place (SIP) formwork blocks filled with a lightweight concrete mix	Из SIP-панелей / SIP panel walls

Окончание табл. 1
End table 1

Конструктивная часть здания / Building element	Технологии / Technologies			
	Вариант № 1 / Option 1	Вариант № 2 / Option 2	Вариант № 3 / Option 3	Вариант № 4 / Option 4
	Конструктивные решения / Structural solutions			
Перекрытия / Floor slabs	Ж/б плиты / Reinforced concrete slabs	Облегченные ж/б плиты / Lightweight reinforced concrete slabs	Облегченные ж/б плиты / Lightweight reinforced concrete slabs	Плиты перекрытий из SIP-панелей / SIP panel floor slabs
Кровля / Roofing	Двускатная стропильная система с покрытием металлочерепицей / Double-pitch framed roof covered with metal tiles	Двускатная стропильная система с покрытием металлочерепицей / Double-pitch framed roof covered with metal tiles	Двускатная стропильная система с покрытием металлочерепицей / Double-pitch framed roof covered with metal tiles	Двускатная из SIP-панелей с обшивкой из профильного настила / Framed roof made of SIP panels covered with profiled sheeting
Отделка фасада / Facade finishing	Облицовочный кирпич / Front brick	Облицовочный кирпич / Front brick	Декоративно-штукатурная смесь / Decorative plaster	Декоративные фасадные панели / Decorative facade panels
Отделка помещений / Interior finishing	Оштукатуривание стен и потолков (предчистовая) / Pre-final plastering of walls and ceilings	Оштукатуривание стен и потолков (предчистовая) / Pre-final plastering of walls and ceilings	Оштукатуривание стен и потолков (предчистовая) / Pre-final plastering of walls and ceilings	Фактурная отделка стен и потолков (чистовая) / Wall and ceiling texturing

Исходя из принятых конструктивных решений и заданных параметров строительства, по каждой технологии возведения были определены основные организационно-технологические параметры: состав рабочих и сменность, трудоемкость и продолжительность производства работ. Калькуляция трудозатрат и машиновремени осуществлялась согласно нормам, указанным в сборниках ЕНиР и ГЭСН.

Для каждой рассматриваемой технологии определялся состав энергопотребителей: машины, оборудование и механизированный инструмент. Структура энергопотребления является разной в зависимости от вида и количества применяемых машин и механизмов, показателей их мощности, а также продолжительности производства механизированных работ. При этом каждый из них отличается своим видом потребления энергоресурсов (электричество, жидкое топливо). В этой связи для приведения энергозатрат к сопоставимой единице измерения их целесообразно измерять в килограммах условного топлива (кг у.т.). Перевод электроэнергии и жидкого топлива в условное производился в соответствии с п. 6.3.2.3 ГОСТ Р 51750-2001, в котором указано, что перерасчет различных топливно-энергетических ресурсов в условное топливо производится по их энергетическим характеристикам на основании следующих соотношений:

- 1 кг у.т. = 29,3 МДж = 7000 ккал;
- 1 кВт·ч = 3,6 МДж = 0,12 кг у.т.;
- 1 кг дизельного топлива = 1,45 кг у.т.;
- 1 кг бензина = 1,52 кг у.т.

Подсчет расходов ТЭР осуществлялся на основании формулы (1), предложенной ранее в исследовании [29]:

$$W_{\text{потребителя}} = Q_{\text{час}} \cdot k_i \cdot T_{\text{дня}} \cdot T_{\text{работ}} \quad (1)$$

где $W_{\text{потребителя}}$ — расход i -м потребителем ТЭР; $Q_{\text{час}}$ — часовой расход различных видов ТЭР (энергопотребление в час); $T_{\text{дня}}$ — продолжительность рабочего дня; k_i — коэффициенты перевода ТЭР в условное топливо согласно ГОСТ Р 51750-2001; $T_{\text{работ}}$ — продолжительность работ.

Информация по расходу ТЭР была определена из соответствующих технических паспортов для выбранных марок машин и механизмов. Данные по наименованиям и продолжительности работы машин, оборудования и механизированного инструмента по каждой технологии строительства взяты из построенных организационно-технологических моделей в виде графиков производства работ. На рис. 1 представлены графики производства работ для рассматриваемых технологий малоэтажного строительства. Для проведения исследования задавались граничные условия строительства: начало производства работ в мае, регион строительства — Московская область.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рассмотренных организационно-технологических моделях для технологий малоэтажного строительства состав комплекта машин и механизмов определялся в соответствии со сборниками ЕНиР и ГЭСН на соответствующие работы. В результате были произведены расчеты по расходованию ТЭР при производстве механизированных работ для рассматриваемых технологий малоэтажного строительства. Результаты расчетов энергопотребления представлены в табл. 2.

Полученные данные характеризуют различные количественные показатели энергопотребления при производстве механизированных работ по технологиям малоэтажного домостроения. На рис. 2 представлено сравнительное потребление ТЭР ма-

шинами и механизмами для рассматриваемых технологий возведения малоэтажного жилого здания.

Исходя из представленных расчетов, наименее энергозатратными являются технологии с применением мелкоштучных материалов: керамзитобетонные блоки (вариант № 1) и кирпич (вариант № 2). Технологии возведения с применением блоков несъемной опалубки (вариант № 3) и SIP-панелей (вариант № 4) — самые энергоемкие среди рассматриваемых технологий малоэтажного домостроения. Это объясняется применением технологических машин (автобетоносмеситель) и грузоподъемной техники (кран на гусеничном ходу). При этом расходование ТЭР при производстве механизированных работ по возведению здания из SIP-панелей, керамзитобетонных блоков и кирпича соответственно ниже на 11; 42 и 59 % в сравнении с возведением здания в несъем-

Табл. 2. Расходование ТЭР при производстве механизированных работ по технологиям малоэтажного строительства

Table 2. Fuel and energy consumable in the process of mechanized work performance within the framework of low-rise construction

Технология / Technology	Машины и механизмы / Machines and mechanisms	Расходы ТЭР, кг у.т. / Fuel and energy consumption, in kg of standard fuel
Вариант № 1 / Option 1	<i>Земляные работы: / Earth excavation:</i>	
	Бульдозер / Bulldozer	24,0
	Экскаватор / Excavator	18,0
	Компрессор передвижной с пневматической трамбовкой / Mobile compressor with a pneumatic rammer	9,0
	<i>Бетонные работы: / Concreting operations:</i>	
	Бетоносмеситель / Concrete mixer	2,0
	Вибратор поверхностный / Surface vibrator	1,0
	<i>Кладочные работы: / Brickwork:</i>	
	Бетоносмеситель / Concrete mixer	4,0
	<i>Монтажные работы: / Erection work:</i>	
	Кран на гусеничном ходу / Crawler-mounted crane	153,0
	<i>Кровельные работы: / Roofwork:</i>	
	Пила с карбюраторным двигателем / Saw with a carburettor engine	1,5
	<i>Отделочные работы и устройство окон, дверей: / Finishing works, installation of windows and doors:</i>	
	Растворосмеситель / Mortar mixer	2,0
	Растворонасос / Mortar pump	12,0
Перфоратор / Pneumatic hammer	0,5	
	$\Sigma = 227$	
Вариант № 2 / Option 2	<i>Земляные работы: / Earthwork:</i>	
	Бульдозер / Bulldozer	24,0
	Экскаватор / Excavator	9,0
	Компрессор передвижной с пневматической трамбовкой / Mobile compressor with a pneumatic rammer	7,0
	<i>Бетонные работы: / Concreting operations:</i>	
	Бетоносмеситель / Concrete mixer	0,5
	Вибратор поверхностный / Surface vibrator	0,8
	<i>Кладочные работы: / Brickwork:</i>	
	Бетоносмеситель / Concrete mixer	3,5
	<i>Монтажные работы: / Erection work:</i>	
	Кран на гусеничном ходу / Crawler-mounted crane	99,0
	<i>Кровельные работы: / Roofwork:</i>	
	Пила с карбюраторным двигателем / Saw with a carburettor engine	1,5
	<i>Отделочные работы и устройство окон, дверей: / Finishing works, installation of windows and doors:</i>	
	Растворосмеситель / Mortar mixer	2,0
	Растворонасос / Mortar pump	12,0
Перфоратор / Pneumatic hammer	0,5	
	$\Sigma = 160$	

Окончание табл. 2

Технология / Technology	Машины и механизмы / Machines and mechanisms	Расходы ТЭР, кг у.т. / Fuel and energy consumption, in kg of standard fuel
Вариант № 3 / Option 3	<i>Земляные работы: / Earthwork:</i>	
	Бульдозер / Bulldozer	24,0
	Экскаватор / Excavator	9,0
	Компрессор передвижной с пневматической трамбовкой / Mobile compressor with a pneumatic rammer	5,0
	<i>Бетонные работы: / Concreting operations:</i>	
	Автобетононасос / Truck-mounted concrete pump	175,0
	Вибратор глубинный / Internal vibrator	9,0
	Бетоносмеситель / Concrete mixer	1,3
	Вибратор поверхностный / Surface vibrator	0,5
	<i>Арматурные работы: / Rebar placement:</i>	
	Насосная станция с прессом арматурным / Pump with a rebar press machine	6,0
	<i>Монтажные работы: / Erection work:</i>	
	Кран на гусеничном ходу / Crawler-mounted crane	136,0
	<i>Кровельные работы: / Roofwork:</i>	
	Пила с карбюраторным двигателем / Saw with a carburettor engine	1,5
	<i>Отделочные работы и устройство окон, дверей: / Finishing works, installation of windows and doors:</i>	
	Растворосмеситель / Mortar mixer	2,0
Растворонасос / Mortar pump	14,5	
Компрессор с пескоструйным аппаратом / Compressor with a sand blaster	4,0	
Перфоратор / Pneumatic hammer	0,5	
	$\Sigma = 388$	
Вариант № 4 / Option 4	<i>Земляные работы: / Earthwork:</i>	
	Бульдозер / Bulldozer	24,0
	<i>Сваебойные работы: / Pile driving:</i>	
	Мини сваебойная установка / Compact piling machine	15,0
	Агрегат сварочный / Welding machine	7,0
	Сварочный инвертор / Welding inverter machine	10,5
	<i>Бетонные работы: / Concreting operations:</i>	
	Вибратор глубинный / Internal vibrator	0,5
	<i>Монтажные работы: / Erection works:</i>	
	Кран автомобильный / Truck-mounted crane	261
	<i>Кровельные работы: / Roofwork:</i>	
	Пила с карбюраторным двигателем / Saw with a carburettor engine	1,5
	<i>Отделочные работы и устройство окон, дверей: / Finishing works, installation of windows and doors:</i>	
	Растворосмеситель / Mortar mixer	0,5
Компрессор передвижной с агрегатом окрасочным / Mobile compressor with a painting machine	13,0	
Краскотерка / Colour mixer	0,3	
Перфоратор / Pneumatic hammer	0,5	
	$\Sigma = 334$	

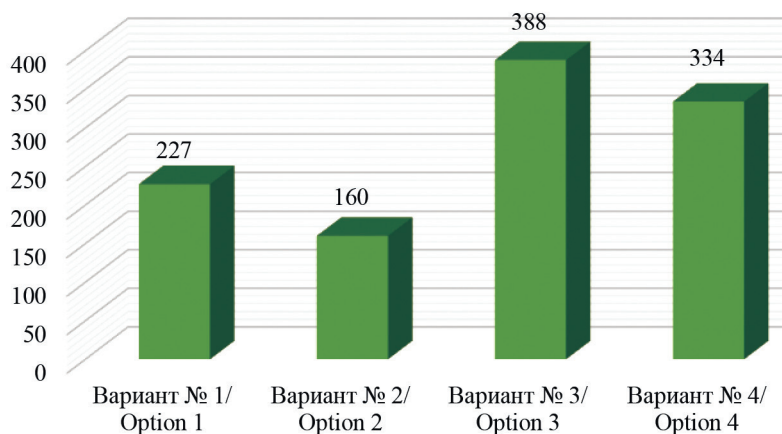


Рис. 2. Сравнительные энергозатраты при производстве механизированных работ по технологиям малоэтажного строительства

Fig. 2. Comparative energy consumption in the course of mechanized work performance with the employment of low-rise construction technologies

ной опалубке. Таким образом, расходование ТЭР во многом определяется спецификой механизации производства работ применительно к выбранным конструктивно-технологическим решениям зданий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Отличительная особенность малоэтажного строительства при механизации работ — возможность применения малогабаритной и маломощной строительной техники, что существенно влияет на сокращение расходования ТЭР в период возведения зданий. Однако различия в применяемых технологиях возведения малоэтажных жилых зданий влияют на специфику применения строительных машин, оборудования и механизированного инструмента, и соответствующего им энергопотребления.

Методологические подходы в проведенном исследовании соответствуют авторским подходам, посвященным проблеме оценки потребления энергоресурсов на строительной площадке при возведении зданий различного назначения. Выбранный инструментарий по определению расхода ТЭР машинами и механизмами позволил выполнить декомпозицию строительных работ с привязкой к соответствующей строительной технике и механизированному инструменту. Также как и у других авторов, для сопоставимости все энергорасходы были приведены к универсальной размерности — килограмму условного топлива. Полученные результаты позволяют интегрировать их в общий банк данных по удельным энергозатратам возведения зданий с применением различных технологий строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Феофанов С.В.* Актуальные проблемы развития малоэтажного строительства в условиях современного спроса на рынке недвижимости // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение.* 2013. № 2 (34). С. 104–111.
2. *Сайфуллина С.Ф., Логиновская И.Д.* Перспективы развития малоэтажного жилищного строительства в России // *Управление экономическими системами: электронный журнал.* 2015. № 5 (77). URL: <http://uecs.ru/logistika/item/3490-2015-05-08-12-47-21>
3. *Гусева М.С., Сарварова Э.Р.* Малоэтажное строительство как тренд пространственного развития РФ: реалии и перспективы // *Научно-методический электронный журнал «Концепт».* 2013. Т. 3. С. 3161–3165. URL: <http://e-koncept.ru/2013/53638.htm>
4. *Зайнуллина Т.Г.* Проблемы и перспективы малоэтажного жилищного строительства // *Terra Economicus.* 2013. Т. 11. № 4–3. С. 105–107.
5. *Акифьев И.В., Пономарева И.К.* Стратегия продвижения малоэтажных жилых зданий в регионах РФ // *Муниципалитет: экономика и управление.* 2019. № 1 (26). С. 5–15.
6. *Петрова З.К., Долгова В.О.* Развитие малоэтажного жилищного строительства на территории Центрального федерального округа // *ACADEMIA. Архитектура и строительство.* 2018. № 2. С. 115–125. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-2-115-125
7. *Флюшина К.Э., Минаев Н.Н., Гусакова Н.В., Добрынина О.И., Жарова Е.А., Меркульева Ю.А. и др.* Методология и закономерности управления процессами регионального планирования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности проектов малоэтажного строительства // *Региональная экономика: теория и практика.* 2016. № 12 (435). С. 63–79.
8. *Тарасенко В.Н., Денисова Ю.В.* Проблема энергосбережения в России // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова.* 2016. № 11. С. 63–68. DOI: 10.12737/22375
9. *Коровина М.Д., Барашкова П.С.* Обоснование необходимости энергосбережения в многоэтаж-

- ном жилищном строительстве // *Экология и строительство.* 2017. № 2. С. 4–10.
10. *Гашио Е.Г.* Формирование региональных программ энергосбережения — комплексный подход // *Энергосбережение и водоподготовка.* 2010. № 5 (67). С. 27–29.
11. *Баишаков И.А.* Оценка значений целевых индикаторов государственной программы РФ по энергосбережению // *Энергосбережение.* 2013. № 4. С. 10–23.
12. *Шеина С.Г., Миненко А.Н.* Разработка алгоритма выбора энергоэффективных решений в строительстве // *Инженерный вестник Дона.* 2012. № 4–1 (22). С. 133. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1099>
13. *Duc Luong N.* A critical review on Energy Efficiency and Conservation policies and programs in Vietnam // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2015. Vol. 52. Pp. 623–634. DOI: 10.1016/j.rser.2015.07.161
14. *Aste N., Buzzetti M., Caputo P., Manfredi M.* Local energy efficiency programs: A monitoring methodology for heating systems // *Sustainable Cities and Society.* 2014. Vol. 13. Pp. 69–77. DOI: 10.1016/j.scs.2014.04.006
15. *Lu W.-M., Kweh Q.L., Nourani M., Huang F.-W.* Evaluating the efficiency of dual-use technology development programs from the R&D and socio-economic perspectives // *Omega.* 2016. Vol. 62. Pp. 82–92. DOI: 10.1016/j.omega.2015.08.011
16. *Alberini A., Bigano A.* How effective are energy-efficiency incentive programs? Evidence from Italian homeowners // *Energy Economics.* 2015. Vol. 52. Pp. S76–S85. DOI: 10.1016/j.eneco.2015.08.021
17. *Siddiqui S., Christensen A.* Determining energy and climate market policy using multiobjective programs with equilibrium constraints // *Energy.* 2016. Vol. 94. Pp. 316–325. DOI: 10.1016/j.energy.2015.11.002
18. *Panjehpour M.* Structural Insulated Panels: State-of-the-Art // *Trends in Civil Engineering and its*

Architecture. 2018. Vol. 3. Issue 1. DOI: 10.32474/TCEIA.2018.03.000151

19. Lapidus A., Ndayiragije Y. Sip-technology as solution in low-rise multi-family residential buildings // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 97. P. 06032. DOI: 10.1051/e3sconf/20199706032

20. Harris J., Durdyev S., Tokbolat S., Ismail S., Kandymov N., Mohandes S. Understanding construction stakeholders' experience and attitudes toward use of the Structurally Insulated Panels (SIPs) in New Zealand // Sustainability. 2019. Vol. 11. Issue 19. P. 5458. DOI: 10.3390/su11195458

21. Kroll D., Lovett S.B., Jimenez-Bescos C., Chisnall P., Aitchison M. Passive house vs. passive design: sociotechnical issues in a practice-based design research project for a low-energy house // Architectural Science Review. 2019. Pp. 1–11. DOI: 10.1080/00038628.2019.1697924

22. Solomon A., Latha H. Inspection of properties of Expanded Polystyrene (EPS), Compressive behaviour, bond and analytical examination of Insulated Concrete Form (ICF) blocks using different densities of EPS // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2017. Vol. 8(81). Pp. 209–221.

23. Almaawali S. The effectiveness of thermal insulated concrete blocks in Oman // Current Trends in Civil & Structural Engineering. 2020. Vol. 4. Issue 5. DOI: 10.33552/ctse.2020.04.000600

24. Король О.А. Организационно-технологический механизм реализации энергосберегающих мероприятий при возведении объектов монолитного домостроения : дисс. ... канд. техн. наук. М., 2016. 161 с.

25. Опарина Л.А. Результаты расчета энергоемкости жизненного цикла зданий // Жилищное строительство. 2013. № 11. С. 50–52.

26. Лозовский А.А., Земляков Г.В. Расчет индивидуальных технологических норм расхода топливно-энергетических ресурсов в строительном производстве // Вестник БНТУ. 2011. № 6. С. 42–48.

27. Грабовый К.П., Король О.А. Анализ потребления энергоресурсов на строительной площадке и резервов их сокращения // Естественные и технические науки. 2014. № 11–12 (78). С. 399–401.

28. Лошаков В.В., Синенко С.А., Король О.А. Способ проектирования энергоэффективных бытовых городков // Системные технологии. 2018. № 2 (27). С. 19–24.

29. Король Е.А., Журавлева А.А. Анализ структуры энергозатрат при строительстве малоэтажных жилых зданий // БСТ. 2020. № 3. С. 62–64.

30. Ширишиков Б.Ф. Организация, планирование и управление строительством: учебник для вузов. М. : Изд-во АСВ, 2012. 528 с.

Поступила в редакцию 13 марта 2020 г.

Принята в доработанном виде 6 апреля 2020 г.

Одобрена для публикации 28 апреля 2020 г.

ОБ АВТОРАХ: **Елена Анатольевна Король** — доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой жилищно-коммунального комплекса; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 678276, Scopus: 57197844794, ResearcherID: 2635-2019, ORCID: 0000-0002-5019-3694; KorolEA@gic.mgsu.ru;

Анастасия Андреевна Журавлева — аспирант кафедры жилищно-коммунального комплекса; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 2811-1600; KafedraGKK@mgsu.ru.

REFERENCES

1. Feofanov S.V. Actual problems of the development of low-rise construction in the context of modern demand in the real estate market. *Modern high technology. Regional application*. 2013; 2(34):104-111. (rus.).

2. Saifullina S.F., Loginovskaya I.D. Prospects for the development of low-rise construction in Russia. *Management of economic systems: electronic journal*. 2015; 5(77). URL: <http://uecs.ru/logistika/item/3490-2015-05-08-12-47-21> (rus.).

3. Guseva M.S., Sarvarova E.R. Low-rise construction as a trend of spatial development of the Russian Federation: realities and prospects. *Scientific and methodological electronic journal "Concept"*. 2013; 3:3161-3165. URL: <http://e-koncept.ru/2013/53638.htm> (rus.).

4. Zaynullina T.G. Problems and prospects of low-rise housing construction. *Terra Economicus*. 2013; 11(4-3):105-107. (rus.).

5. Akifiev I.V., Ponomareva I.K. Promotion strategy for low-rise residential buildings in the regions of the Russian Federation. *Municipality: Economics and Management*. 2019; 1(26):5-15. (rus.).

6. Petrova Z.K., Dolgova V.O. The development of low-rise housing in the Central Federal District. *ACADEMIA. Architecture and construction*. 2018; 2:115-125. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-2-115-125 (rus.).

7. Filyushina K.E., Minaev N.N., Gusakova N.V., Dobrynina O.I., Zharova E.A., Merkul'eva Y.A. et al. Regional planning in energy saving and energy efficiency of low-rise development projects: A methodology and management patterns. *Regional Economics: theory and practice*. 2016; 12:63-79. (rus.).

8. Tarasenko V.N., Denisova Yu.V. The problem of energy conservation in Russia. *Bulletin of the Belgorod State Technological University of V.G. Shukhov*. 2016; 11:63-68. DOI: 10.12737/22375 (rus.).

9. Korovina M.D., Barashkova P.S. Justification of the need for energy saving in multi-story housing construction. *Ecology and Construction*. 2017; 2:4-10. (rus.).
10. Gasho E.G. Formation of regional energy conservation programs — an integrated approach. *Energy conservation and water treatment*. 2010; 5:27-29. (rus.).
11. Bashmakov I.A. Evaluation of the values of target indicators of the state program of the Russian Federation for energy conservation. *Energy conservation*. 2013; 4:10-23. (rus.).
12. Sheina S.G., Minenko A.N. Development of an algorithm for choosing energy-efficient solutions in construction. *Engineering Bulletin of the Don*. 2012; 4-1(22):133. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1099> (rus.).
13. Duc Luong N. A critical review on Energy Efficiency and Conservation policies and programs in Vietnam. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015; 52:623-634. DOI: 10.1016/j.rser.2015.07.161
14. Aste N., Buzzetti M., Caputo P., Manfren M. Local energy efficiency programs: A monitoring methodology for heating systems. *Sustainable Cities and Society*. 2014; 13:69-77. DOI: 10.1016/j.scs.2014.04.006
15. Lu W.-M., Kweh Q.L., Nourani M., Huang F.-W. Evaluating the efficiency of dual-use technology development programs from the R&D and socio-economic perspectives. *Omega*. 2016; 62:82-92. DOI: 10.1016/j.omega.2015.08.011
16. Alberini A., Bigano A. How effective are energy-efficiency incentive programs? Evidence from Italian homeowners. *Energy Economics*. 2015; 52:S76-S85. DOI: 10.1016/j.eneco.2015.08.021
17. Siddiqui S., Christensen A. Determining energy and climate market policy using multiobjective programs with equilibrium constraints. *Energy*. 2016; 94:316-325. DOI: 10.1016/j.energy.2015.11.002
18. Panjehpour M. Structural insulated panels: state-of-the-art. *Trends in Civil Engineering and its Architecture*. 2018; 3(1). DOI: 10.32474/TCEIA.2018.03.000151
19. Lapidus A., Ndayiragije Y. Sip-technology as solution in low-rise multi-family residential buildings. *E3S Web of Conferences*. 2019; 97:06032. DOI: 10.1051/e3sconf/20199706032
20. Harris J., Durdyev S., Tokbolat S., Ismail S., Kandymov N., Mohandes S. Understanding construction stakeholders' experience and attitudes toward use of the Structurally Insulated Panels (SIPs) in New Zealand. *Sustainability*. 2019; 11(19):5458. DOI: 10.3390/su11195458
21. Kroll D., Breen Lovett S., Jimenez-Bescos C., Chisnall P., Aitchison M. Passive house vs. passive design: sociotechnical issues in a practice-based design research project for a low-energy house. *Architectural Science Review*. 2019; 1-11. DOI: 10.1080/00038628.2019.1697924
22. Solomon A., Latha H. Inspection of properties of Expanded Polystyrene (EPS), Compressive behaviour, bond and analytical examination of Insulated Concrete Form (ICF) blocks using different densities of EPS. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2017; 8(81):209-221.
23. Almaawali S. The effectiveness of thermal insulated concrete blocks in Oman. *Current Trends in Civil & Structural Engineering*. 2020; 4(5). DOI: 10.33552/ctcse.2020.04.000600
24. Korol O.A. *Organizational and technological mechanism for the implementation of energy-saving measures in the construction of monolithic housing construction: dis ... of the Candidate of Technical Science*. Moscow, 2016; 161. (rus.).
25. Oparina L.A. Calculation results of energy intensity of the building life cycle. *Housing construction*. 2013; 11:50-52. (rus.).
26. Lozovsky A.A., Zemlyakov G.V. Calculation of individual technological norms for the consumption of fuel and energy resources in the construction industry. *Bulletin of the Belarusian National Technical University*. 2011; 6:42-48. (rus.).
27. Grabovoi K.P., Korol O.A. Analysis of energy consumption at a construction site and reserves for their reduction. *Natural and Technical Sciences*. 2014; 11-12(78):399-401. (rus.).
28. Loshakov V.V., Sinenko S.A., Korol O.A. The method of designing energy-efficient household towns. *System Technologies*. 2018; 2(27):19-24. (rus.).
29. Korol E.A., Zhuravleva A.A. Analysis of the structure of energy consumption during the construction of low-rise residential buildings. *BST*. 2020; 3:62-64. (rus.).
30. Shirshikov B.F. *Organization, planning and construction management: textbook for universities*. Moscow, ASV, 2012; 528. (rus.).

Received March 13, 2020.

Adopted in a revised form on April 6, 2020.

Approved for publication April 28, 2020.

BIONOTES: **Elena A. Korol'** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Housing and Communal Services; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 678276, Scopus: 57197844794, ResearcherID: 2635-2019, ORCID: 0000-0002-5019-3694; KorolEA@gic.mgsu.ru;

Anastasia A. Zhuravleva — postgraduate student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 2811-1600; KafedraGKK@mgsu.ru.

Особенности трансформации сельского расселения Беларуси

Е.В. Горбенкова

Белорусско-Российский университет; г. Могилев, Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. В современных социально-экономических условиях одной из ключевых задач территориального планирования является обеспечение устойчивости сельского расселения, что особенно актуально для Беларуси — наиболее урбанизированной страны европейского региона. Наиболее эффективным инструментом исследования трансформационных процессов в системе расселения представляется ретроспективный анализ. Изучение особенностей трансформации сельского расселения Беларуси определило цель данной статьи.

Материалы и методы. Методологической основой послужили общенаучные методы (системный подход, ретроспективный анализ) и специальные междисциплинарные (метод картографического моделирования с использованием ГИС). Изучены данные переписей населения, открытые картографические источники, документы территориального планирования (схема комплексной территориальной организации Могилевского района).

Результаты. В истории формирования современной системы сельского расселения Беларуси выделено три периода: дореволюционный (с 1897 по 1917 гг.), советский (с 1917 по 1991 гг.) и современный (с 1991 г. по настоящее время), на протяжении которых происходила наиболее активная трансформация системы сельского расселения. Для каждого периода проведен ретроспективный анализ структуры и пространственно-территориальной организации сельского расселения. Выделены особенности изменения структуры сельского расселения Беларуси: поляризация, увеличение доли и численности населения крупных СНП, вымывание больших и средних и деградация малых СНП.

Выводы. Проведенный анализ позволил выделить исторические периоды, оказавшие существенное влияние на формирование сельского расселения Беларуси, трансформация которого происходила под воздействием преимущественно социальных и политических факторов. Обобщение полученных результатов дало возможность определить две формы трансформации сельских населенных пунктов: развитие и деградацию. Установлены три способа пространственно-территориальной реорганизации сельского расселения: переселение в город, переселение в СНП — центры системы расселения и переселение в рядовые СНП. Дальнейшие исследования связаны с концептуализацией модели пространственно-территориальной организации системы сельского расселения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система расселения, сельское расселение, сельское поселение, системный подход, ретроспективный анализ, пространственно-территориальная реорганизация, урбанизация, формы трансформации

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Горбенкова Е.В. Особенности трансформации сельского расселения Беларуси // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 5. С. 729–745. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.729-745

Transformation features in rural settlement system of Belarus

Elena V. Gorbenkova

Belarusian-Russian University; Mogilev, Republic of Belarus

ABSTRACT

Introduction. The sustainability of the rural settlement is a key land use planning objective in the present-day socio-economic environment. This issue is particularly relevant Belarus as the most urbanized country of the European region. The retrospective analysis is the most effective tool for studying the transformational processes underway in the settlement system. The mission of this article is to study the transformation of the rural settlement pattern in Belarus.

Materials and methods. The research methodology encompasses general scientific methods (a system approach, a retrospective analysis) and special transdisciplinary methods (cartographic modeling backed by GIS tools). Population census data, open-access cartographic sources and land-use planning documents were studied, as well.

Results. Three periods were identified in the history of rural settlement in Belarus: pre-revolutionary (1897–1917), Soviet (1917–1991) and contemporary ones (1991–present). Within these periods, transformational processes were particularly active. A retrospective analysis of the structure and spatial organization of rural settlement processes was performed for each period. Special features of the Belarus rural settlement structure were highlighted. They include polarization, growing population shares and sizes of major rural populated areas, the “drain” of large and medium-sized populated areas, and the degradation of small ones.

Conclusions. The retrospective analysis enabled the author to identify the most significant historical periods in the history of rural settlement. Any settlement transformation was mainly driven by social and political factors. By summarizing the findings, the author identified two patterns of transformation applicable to rural settlement patterns: development and degradation. Three types of spatial reorganization of rural populated areas were formulated: relocation to the city, relocation to rural populated areas, or settlement system centres, and relocation to ordinary rural populated areas. Further research undertakings will focus on conceptualizing the spatial organization model of the rural settlement system.

KEY WORDS: settlement system, rural populated area, system approach, retrospective analysis, spatial reorganization, urbanization, transformation patterns

FOR CITATION: Gorbenkova E.V. Transformation features in rural settlement system of Belarus. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(5):729-745. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.729-745 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня проблема развития системы расселения представляется крайне важной в решении задач территориального планирования как стран [1, 2], так и регионов/субрегионов [3–5]. Отечественные и зарубежные исследования расселения посвящены вопросам пространственно-временного развития [6, 7], влияния эколого-экономических¹ [8, 9] и социально-демографических факторов [10–12], планировочной [13–15], историко-культурной [16–18] и природной [19,20] составляющих, трансформации сельского расселения [22–24] и моделирования сельско-городского расселения [24–26]. К наиболее важным задачам относится выявление факторов, определяющих формирование системы расселения [27], которая с позиции системного подхода обладает признаком историзма, поэтому одним из эффек-

¹ Эколого-экономические аспекты функционирования региональных систем: монография / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Н.М. Ветровой. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2019. 244 с.

тивных методов ее исследования является историко-генетический (ретроспективный) анализ [28, 29].

Формирование системы сельского расселения происходит под воздействием экзогенных (внешних) факторов (природно-климатических, производственных, инфраструктурных и др.), определяющих тип и форму расселения, и эндогенных (внутренних) (социально-экономических, управленческих и др.), раскрывающих расселенческие процессы [30]. Следует отметить, что трансформация сельского расселения Беларуси связана с рядом процессов, повлиявших на преобразование рисунка и пространственно-функциональной структуры расселения: индустриализацией (конец XIX в. — начало XX в.); коллективизацией (1920-е гг.); Второй мировой войной (1939–1945 гг.); чернобыльской катастрофой (1986 г.) и распадом СССР (1991 г.) [31, 32].

Внимание к изучению сельского расселения Беларуси обусловлено особой ролью сельских поселений в пространственном развитии страны [33, 34]. При этом следует отметить, что сегодня одной

Табл. 1. Соотношение численности населения Беларуси за период с конца XIX в. по настоящее время

Table 1. Belarus population (late 19th century — present)

Доля населения / Population share	Год переписи / Census year								
	1897	1939	1959	1970	1979	1989	1999	2009	2019
Городского, % / Urban population, %	13,5	20,8	30,5	43,3	54,9	65,4	69,3	74,3	78,4
Сельского, % / Rural population, %	86,5	79,2	69,5	56,7	45,1	34,6	30,7	25,7	21,6

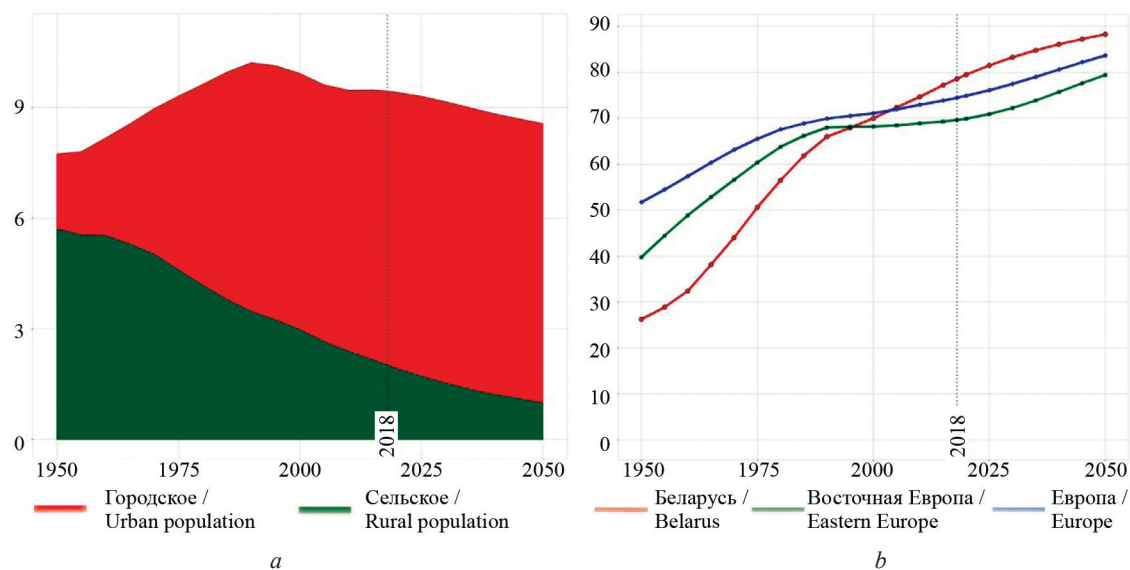


Рис. 1. Динамика численности населения Беларуси с 1950 по 2050 гг.: *a* — городского и сельского населения; *b* — городского населения в сравнении с субрегионами и регионом²

Fig. 1. Belarus population from 1950 to 2050: *a* — urban and rural population; *b* — urban population in comparison with subregions/region²

из особенностей Беларуси является более высокий, по сравнению с другими странами европейского региона², уровень урбанизации, оказавший существенное влияние на структуру сельского расселения (табл. 1, рис. 1).

Степень урбанизации, являясь отражением развития общества, определяется развитостью промышленности, культурных и политических функций, что сегодня достигается прежде всего в городах [35–37]. Одно из преимуществ сельского расселения Беларуси состоит в следующем. Сельские поселения впитали генетику советского периода: в агрогородках — современных центрах сельского расселения, образованных путем преобразования существовавших ранее центральных усадеб передовых колхозов/совхозов — созданы благоприятные условия для проживания.

Цель исследования — в выявлении видов трансформации и способов пространственно-территориальной организации системы сельского расселения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ретроспективный анализ формирования сельского расселения включает ряд методик и методов и содержит следующие этапы: выбор объекта исследования и сбор исходных данных; анализ динамики количественных и качественных показателей; картографическое моделирование; характеристику связей в системе расселения; общую оценку изменений в системе расселения [38].

Один из принципов системного подхода — историзм, предполагающий изучение прошлого системы и выявление тенденций ее будущего поведения, прогнозирование которого необходимо для ее эффективного функционирования, обеспечиваемого принимаемыми решениями по совершенствованию. В исследовании градостроительных систем важным является понимание их генезиса: использование принципа историзма позволяет рассматривать систему расселения в конкретных исторических условиях и устанавливать пространственно-временную динамику: выявлять периоды/этапы/стадии и особенности эволюции системы расселения, раскрывая ее современное состояние; прогнозировать перспективные направления совершенствования.

Важная задача ретроспективного анализа — определение исторических этапов исследования. Для решения данной задачи в истории формирования системы расселения Беларуси выделено три периода: дореволюционный (с 1897 по 1917 гг.), советский (с 1917 по 1991 гг.) и современный (с 1991 г. по

настоящее время), на протяжении которых происходила наиболее активная трансформация системы сельского расселения. Такая периодизация обусловлена сменой политического строя: от империализма к социализму, а позднее — к новому социально-экономическому этапу становления Беларуси как самостоятельного государства.

Для анализа выбрана территория в современных границах Могилевского района (рис. 2). Источниками для исследования послужили данные переписей населения (с конца XIX в. по настоящее время) и схемы комплексной территориальной организации (СКТО) Могилевского района³. Картографическое моделирование выполнено с использованием ГИС с открытым исходным кодом (Quantum GIS).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ структуры сельского расселения

Дореволюционный период. Исходными материалами для анализа послужили данные переписи 1909 г. (Список населенных мест Могилевской губернии 1910 г.), что обосновано устойчивостью сложившейся к началу XX в. системы сельского расселения и полнотой, необходимой для исследования информации. Согласно данным переписи, в современных границах Могилевского района насчитывалось 263 сельских населенных пункта (СНП) с населением 63 283 жителей. Средняя численность населения СНП составляла 240 чел., минимальная — 2 чел., максимальная — 1361 чел. Распределение численности населения и доли СНП в современных границах Могилевского района показано в табл. 2 и на рис. 3.

Следует отметить, что в малых (менее 100 чел.) и крупных (более 1000 чел.) СНП проживало около 10 % населения, в больших (от 500 до 1000 чел.) — около 1/3 сельского населения, а наибольшая доля принадлежала средним (от 100 до 500 чел.) СНП — почти 60 % всех жителей. Наиболее распространенными являлись средние (более 50 %) и малые СНП — около 1/3 от общего количества, при этом доли больших и крупных СНП составляли 12 % и 1 % соответственно (табл. 3–5).

Советский период включал несколько этапов, связанных с изменением структуры сельского расселения: коммунизация и коллективизация (1920–1930 гг.) с последующей рехуторизацией; индустриализация 1930–1940 гг. и 1950–1970 гг.; Вторая мировая война (1941–1945 гг.); чернобыльская катастрофа 1986 г.

³ Схема комплексной территориальной организации Могилевского района URL: <http://mogilev.mogilev-region.by/uploads/files/Ekologicheskij-doklad-Mogilevskij-rajon.pdf> (дата обращения: 11.09.2019).

² World Urbanization Prospects 2018. URL: <https://population.un.org/wup/Country-Profiles/>, accessed 01.03.2020

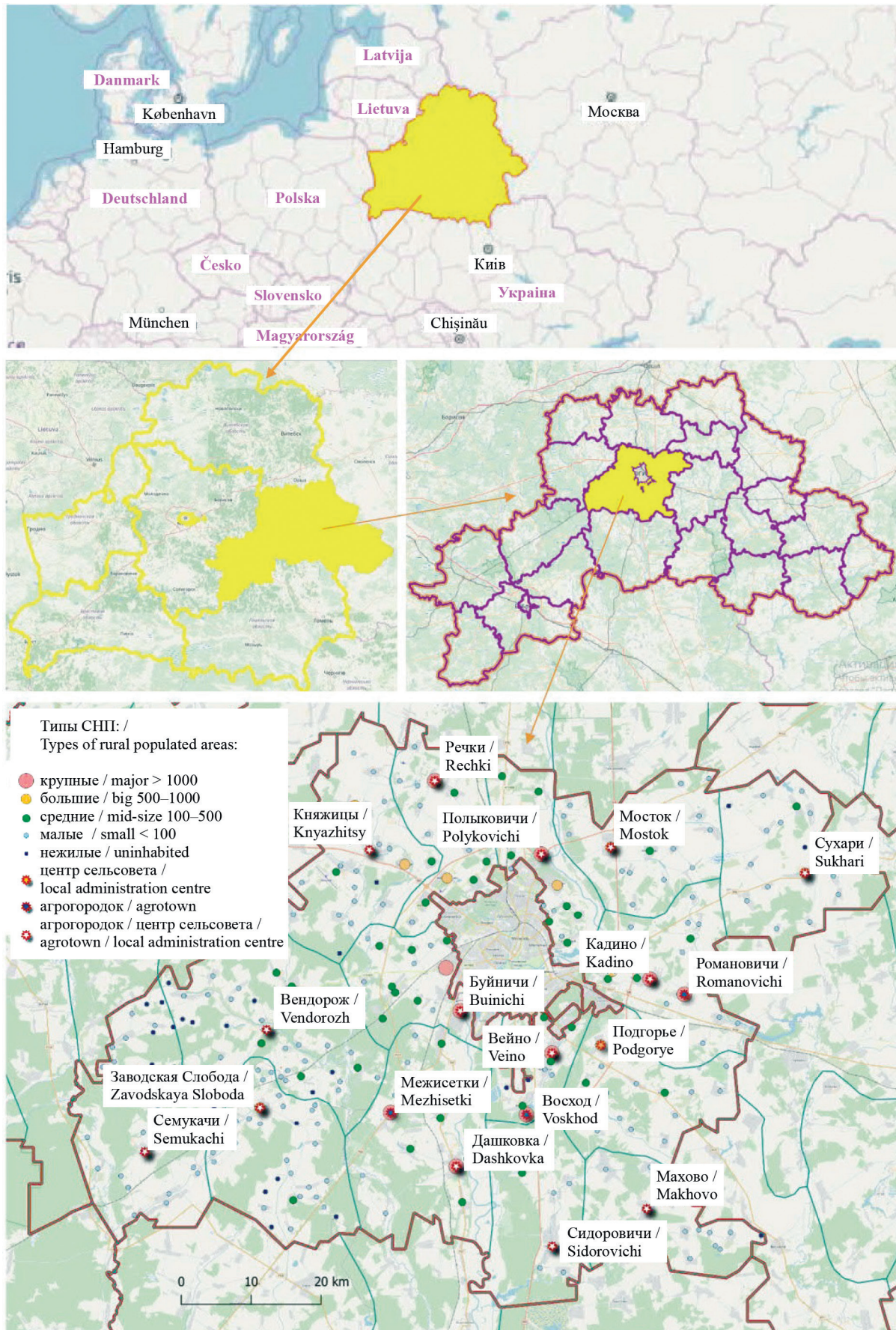


Рис. 2. Объект исследования — Могилевский район (рисунок автора)

Fig. 2. The Mogilev region as the subject of research (the figure is made by the author)

Табл. 2. Численные показатели сельского расселения в дореволюционный период в современных границах Могилевского района

Table 2. Population of rural populated areas in the pre-revolutionary period within the present-day borders of the Mogilev region

Тип СНП / Types of rural populated areas	Количество / Number	Численность населения / Population		Количество дворов / Number of households	
		Общая / Total	Средняя / Average	Общая / Total	Средняя / Average
Деревня / Village	128	39 775	311	5927	47
Хутор / Isolated farmstead	24	1083	46	158	7
Село / Rural locality	22	9591	436	1446	66
Усадьба / Mansion	21	299	15	41	2
Фольварк / Grange	20	504	26	71	4
Имение / Estate	19	96	6	23	2
Поселок / Housing estate	12	1470	123	195	17
Околица / Okolitsa	11	834	76	139	13
Селение / Hamlet	12	2696	225	492	41
Застенок / Zastenok	11	1172	107	226	21
Местечко / Borough	6	2278	380	388	65
Церковный погост / Churchyard	2	15	8	4	2
Выселок / Outpost	2	76	38	12	6
Слобода / Sloboda	2	231	116	41	21
Монастырь / Monastery	1	118	118	18	18
Лагерь / Camp	1	0	0	1	1
Мыза / Myza	1	14	14	4	4

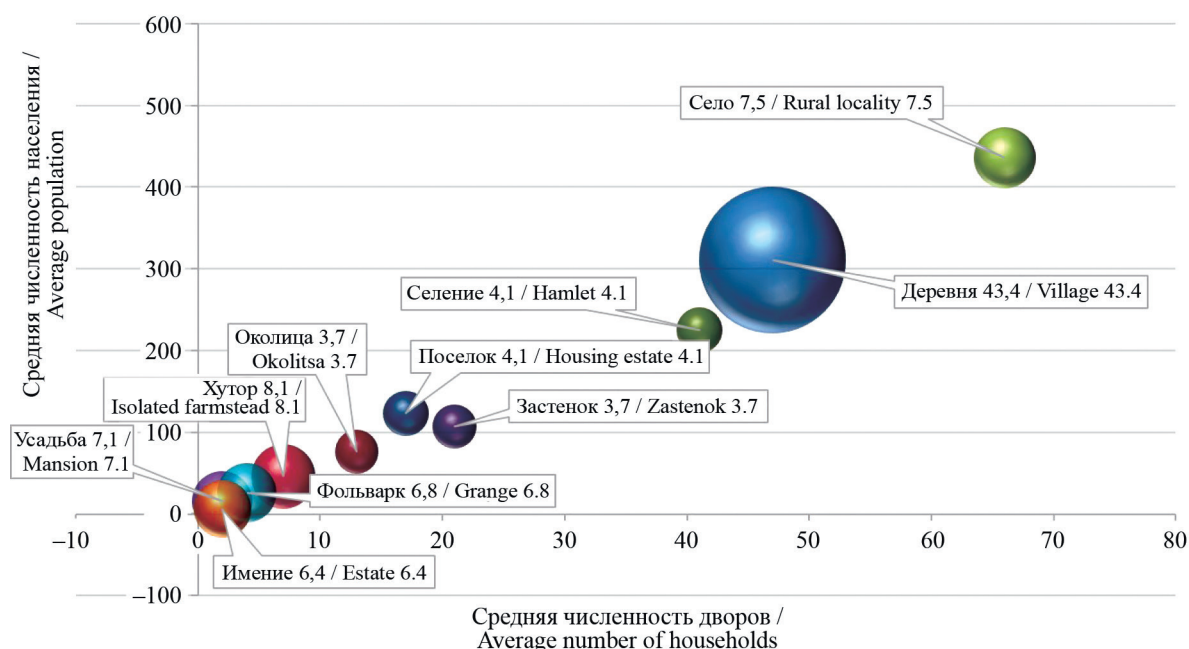


Рис. 3. Распределение размеров и доли сельских населенных пунктов в дореволюционный период (в современных границах Могилевского района) (рисунок автора)

Fig. 3. Size/share of rural populated areas in the pre-revolutionary period (within the present-day borders of the Mogilev region) (the figure is made by the author)

Табл. 3. Динамика численности и количества СНП (в абсолютных единицах) в современных границах Могилевского района с 1909 по 2018 гг.

Table 3. Number of rural populated areas and their population (in absolute units) within the present-day borders of the Mogilev region from 1909 to 2018

Тип СНП / Types of rural populated areas	Численность населения, чел. / Population, persons				Количество СНП, ед. / Number of rural populated areas, items			
	1909 г.	1990 г.	2007 г.	2018 г.	1909 г.	1990 г.	2007 г.	2018 г.
Крупные — свыше 1000 / Major rural populated areas: over 1,000	3583	12 201	14 909	21 685	3	8	9	10
Большие — от 500 до 1000 / Big rural populated areas: 500 – 1,000	20 285	8511	8654	5495	29	12	14	9
Средние — от 100 до 500 / Mid-size rural populated areas: 100 – 500	37 634	25 402	13 969	14 383	146	113	61	57
Малые — до 100 / Small rural populated areas: below 100	3688	6626	6030	4929	120	152	193	203
Итого / Total	65 190	52 740	43 562	46 492	298	285	277	279

Табл. 4. Динамика численности и количества СНП (в относительных единицах) в современных границах Могилевского района с 1909 по 2018 гг.

Table 4. Number of rural populated areas and their population (in relative units) within the present-day borders of the Mogilev region from 1909 to 2018

Тип СНП / Types of rural populated areas	Численность населения, % / Population, %				Количество СНП, % / Number of rural populated areas, %			
	1909 г.	1990 г.	2007 г.	2018 г.	1909 г.	1990 г.	2007 г.	2018 г.
Крупные — свыше 1000 / Major rural populated areas: over 1,000	5,5	23,1	34,2	46,6	1,01	2,8	3,2	3,6
Большие — от 500 до 1000 / Big rural populated areas: 500 – 1,000	31,1	16,1	19,9	11,8	9,73	4,21	5,05	3,23
Средние — от 100 до 500 / Mid-size rural populated areas: 100 – 500	57,7	48,2	32,1	30,9	48,99	39,6	22,0	20,4
Малые — до 100 / Small rural populated areas: below 100	5,7	12,6	13,8	10,6	40,27	53,3	69,7	72,8
Итого / Total	100	100	100	100	100	100	100	100

Табл. 5. Изменение средней численности населения СНП в современных границах Могилевского района с 1909 по 2018 гг.

Table 5. Changes in the average population of rural populated areas within the present-day borders of the Mogilev region from 1909 to 2018

Тип СНП / Types of rural populated areas	Средняя численность населения, чел. / Average population, persons			
	1909 г.	1990 г.	2007 г.	2018 г.
Крупные — свыше 1000 / Major rural populated areas: over 1,000	1194	1525	1657	2169
Большие — от 500 до 1000 / Big rural populated areas: 500 – 1,000	699	709	618	611
Средние — от 100 до 500 / Mid-size rural populated areas: 100 – 500	258	225	229	252
Малые — до 100 / Small rural populated areas: below 100	31	44	31	24

В период коллективизации и коммунизации (1920–1930 гг.) взят курс на укрупнение СНП и ликвидацию хуторов. На этом этапе в границах современного Могилевского района было образовано более 80 новых деревень и поселков. В послевоенное время произошло снижение численности населения Могилевского района, связанное с военными действиями на территории Белорусской Советской Социалистической Республики (БССР). Так, в период с 1942 по 1944 гг. было уничтожено около 70 % жилых домов в 54 СНП Могилевского района (около 1/3 от общего количества), десять из которых (почти 20 %) уничтожены полностью (Городок, Горяны, Добросневичи, пос. Езерщина, Лубнице, Курган, Малое Бушково, Николаевка, Сташино, Шараевка).

Значительные изменения претерпела и структура расселения. Наибольшая доля принадлежала малым СНП (53 %), в которых проживало 14,2 % всего сельского населения. В средних (41,3 %) проживало 56,5 % сельского населения. Доля больших составляла 4,7 % с численностью населения 20,5 %, а наименьшую группу представляли крупные СНП (1 %) с долей сельского населения 8,8 % (результаты переписи 1959 г.). В результате чернобыльской катастрофы некоторые территории БССР подверглись

радиоактивному загрязнению, что привело к отселению части сельского населения в другие СНП. К концу советского периода (1990 г.) доля крупных СНП составляла 2,8 % с населением 23,1 %, больших — 4,21 % и 16,1 % соответственно, наиболее многочисленная группа (48,2 %) — средние СНП, доля которых — 39,6 %. Наибольшее количество СНП представляли малые СНП (53,3 %) с наименьшей численностью населения — 12,6 % (рис. 4, 5).

На *современном этапе* деформация системы сельского расселения продолжается и характеризуется измельчением СНП и исчезновением многих деревень. Численность населения уменьшается во всех группах СНП: в малых — с 12,6 до 10,6 %, средних — с 48,2 до 30,9 %, в больших — с 16,1 до 11,8 %. Исключение составляют крупные СНП, в которых численность населения увеличилась более чем в два раза с начала рассматриваемого периода (с 23,1 до 46,6 %). При этом значительно уменьшилось количество средних СНП (с 39,6 до 20,4 %), больших — с 4,21 до 3,23 % и возросло количество крупных (с 2,8 до 3,6 %) и малых (с 53,3 до 72,8 %) (рис. 4–7).

Динамика изменения плотности сельского населения с 1909 по 2018 гг. показана на рис. 8.

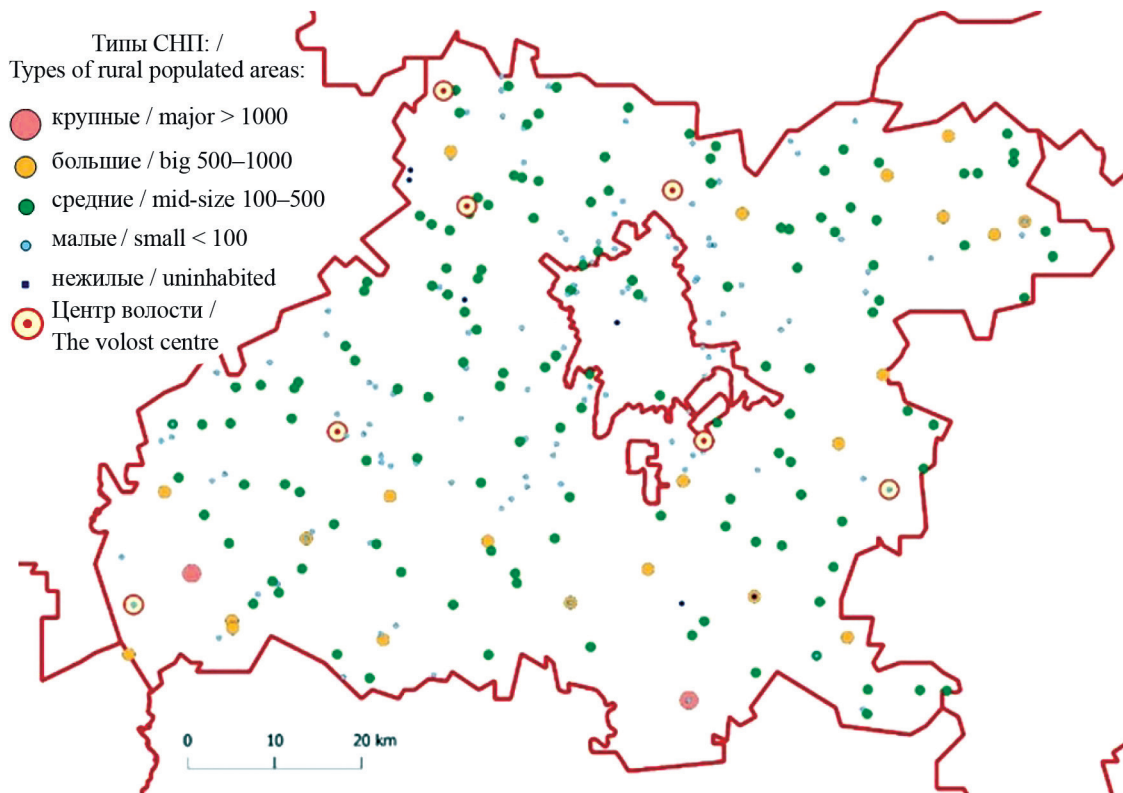


Рис. 4. Сеть населенных пунктов 1909 г. в современных границах Могилевского района (рисунок автора)

Fig. 4. A network of populated areas (1909) within the present-day borders of the Mogilev region (the figure is made by the author)

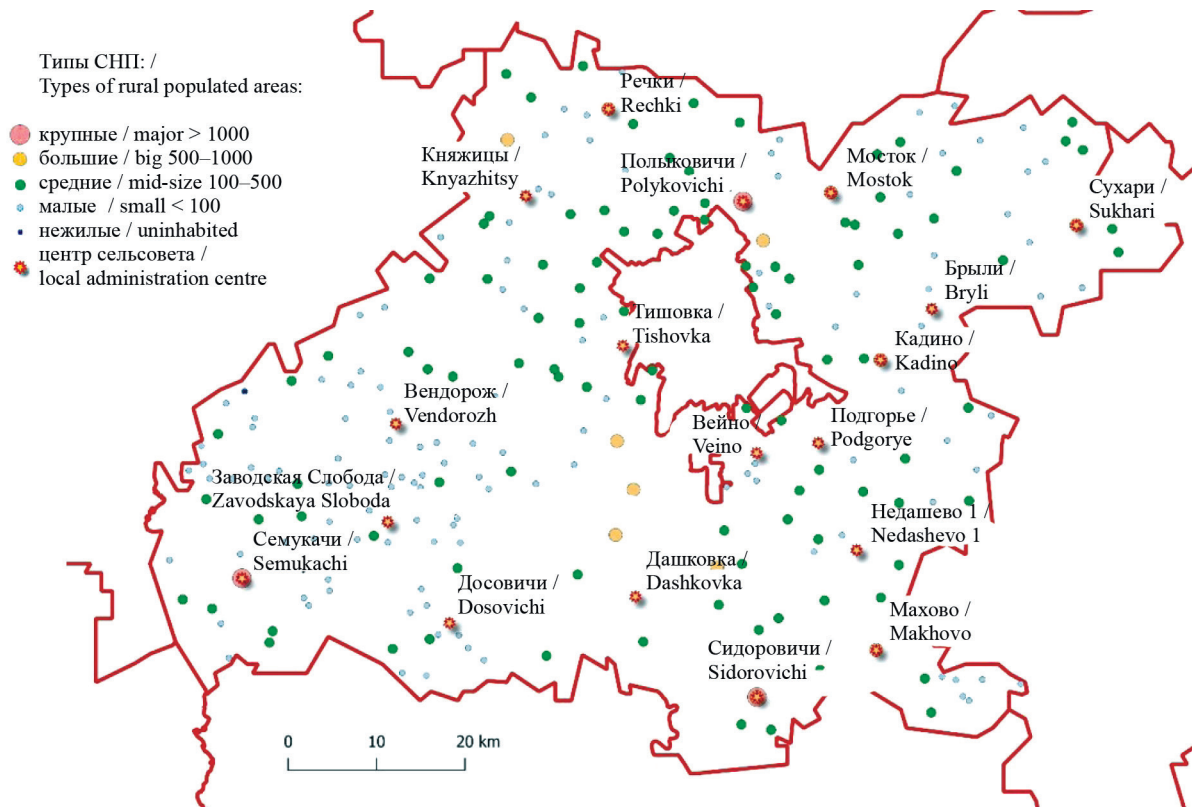


Рис. 5. Сеть населенных пунктов 1990 г. в современных границах Могилевского района (рисунок автора)

Fig. 5. A network of populated areas (1990) within the present-day borders of the Mogilev region (the figure is made by the author)

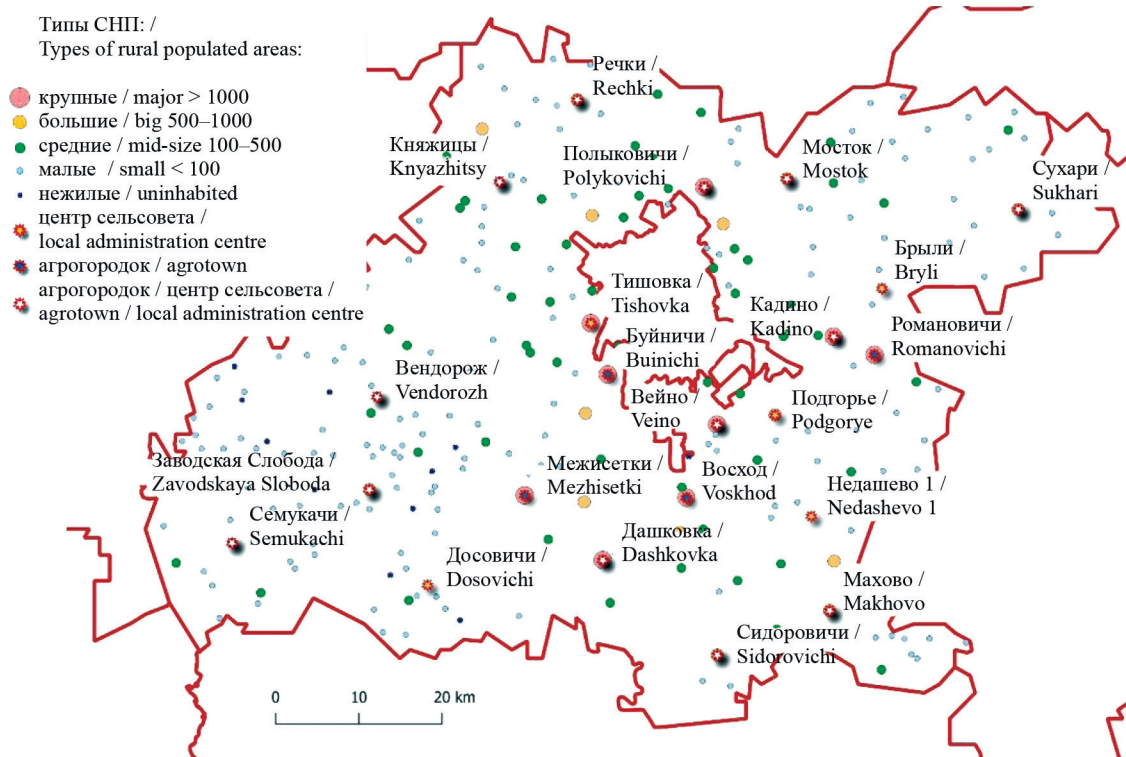


Рис. 6. Сеть населенных пунктов 2007 г. в современных границах Могилевского района (рисунок автора)

Fig. 6. A network of populated areas (2007) within the present-day borders of the Mogilev region (the figure is made by the author)

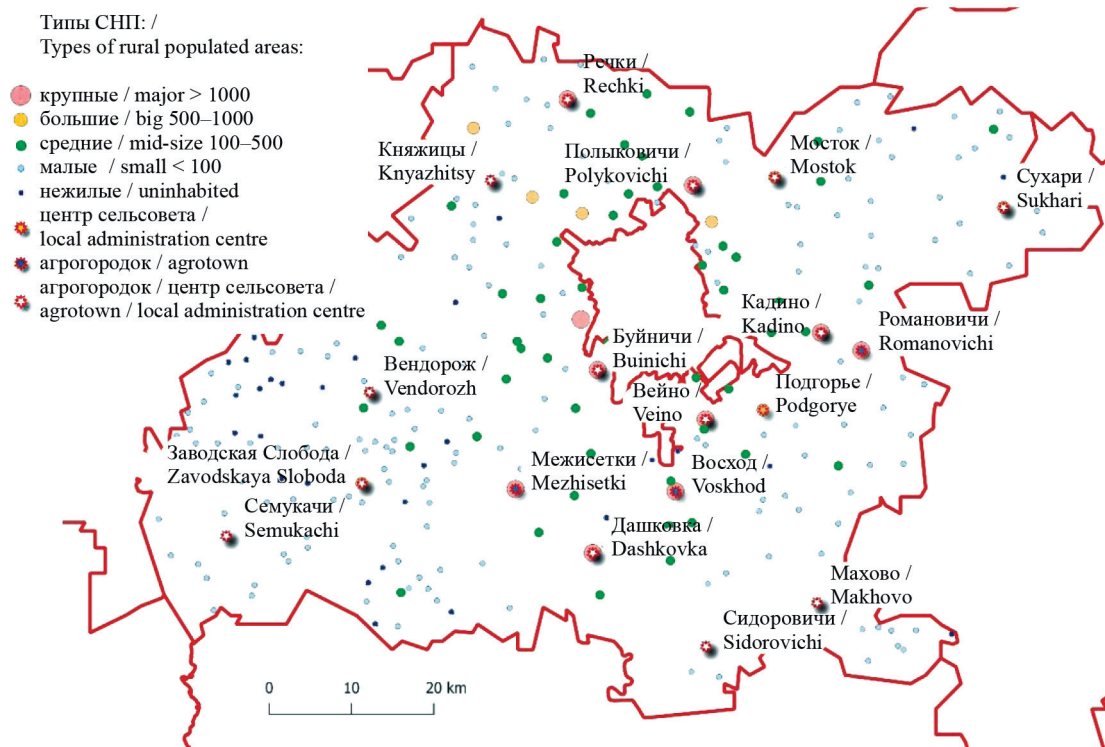


Рис. 7. Сеть населенных пунктов 2018 г. в современных границах Могилевского района (рисунок автора)
Fig. 7. A network of populated areas (2018) within the present-day borders of the Mogilev region (the figure is made by the author)

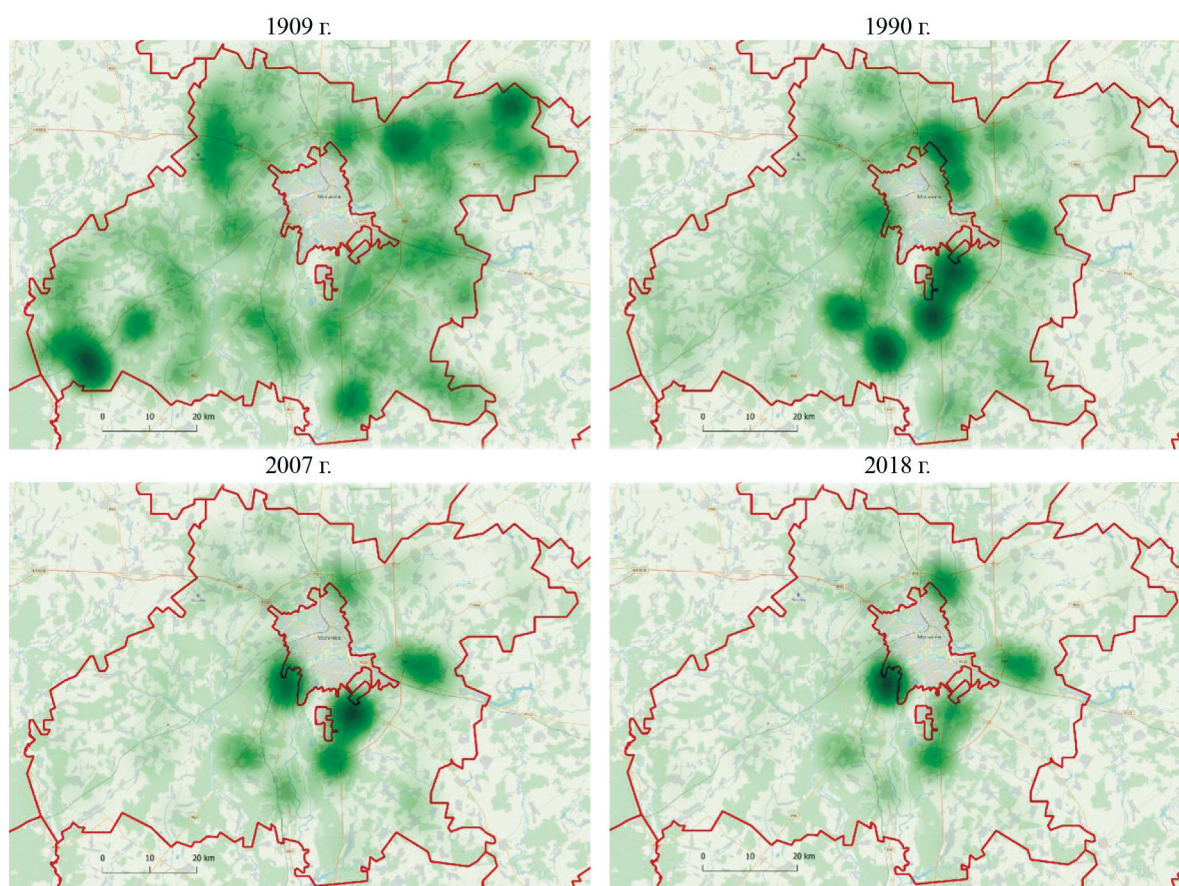


Рис. 8. Плотность сельского населения в современных границах Могилевского района (рисунок автора)
Fig. 8. Rural population density within the present-day borders of the Mogilev region (the figure is made by the author)

Графическое представление трансформационных процессов, происходящих в структуре расселения за рассматриваемый период, показано на рис. 9–11: постепенное уменьшение числа больших и увеличение числа крупных СНП; резкое умень-

шение количества в группе средних СНП при значительном увеличении числа малых; уменьшение численности населения во всех группах СНП, за исключением крупных.

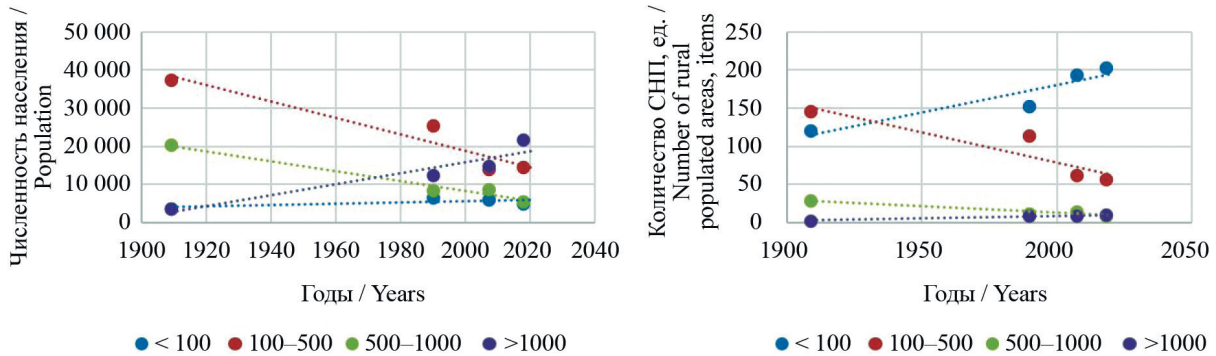


Рис. 9. Динамика и прогноз численности и количества СНП в современных границах Могилевского района (рисунок автора)
 Fig. 9. Dynamics and forecast of population figures and the number of rural populated areas within the present-day borders of the Mogilev region (the figure is made by the author)

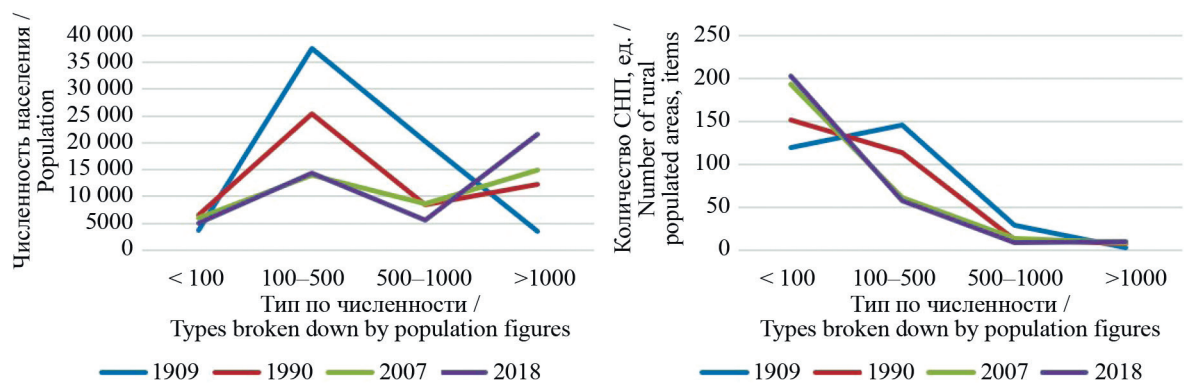


Рис. 10. Динамика структуры сельского расселения Могилевского района (в абсолютных единицах) (рисунок автора)
 Fig. 10. Rural settlement structure dynamics in the Mogilev region (in absolute units) (the figure is made by the author)

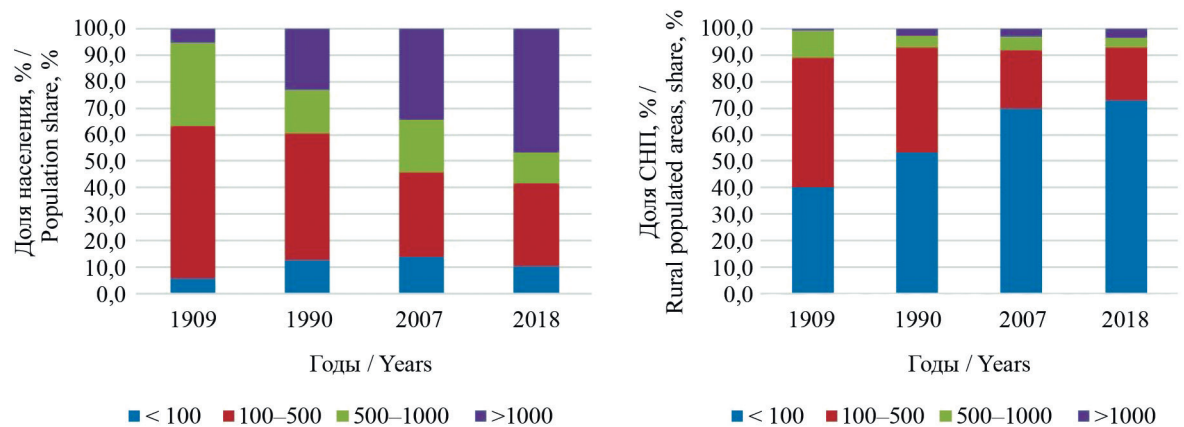


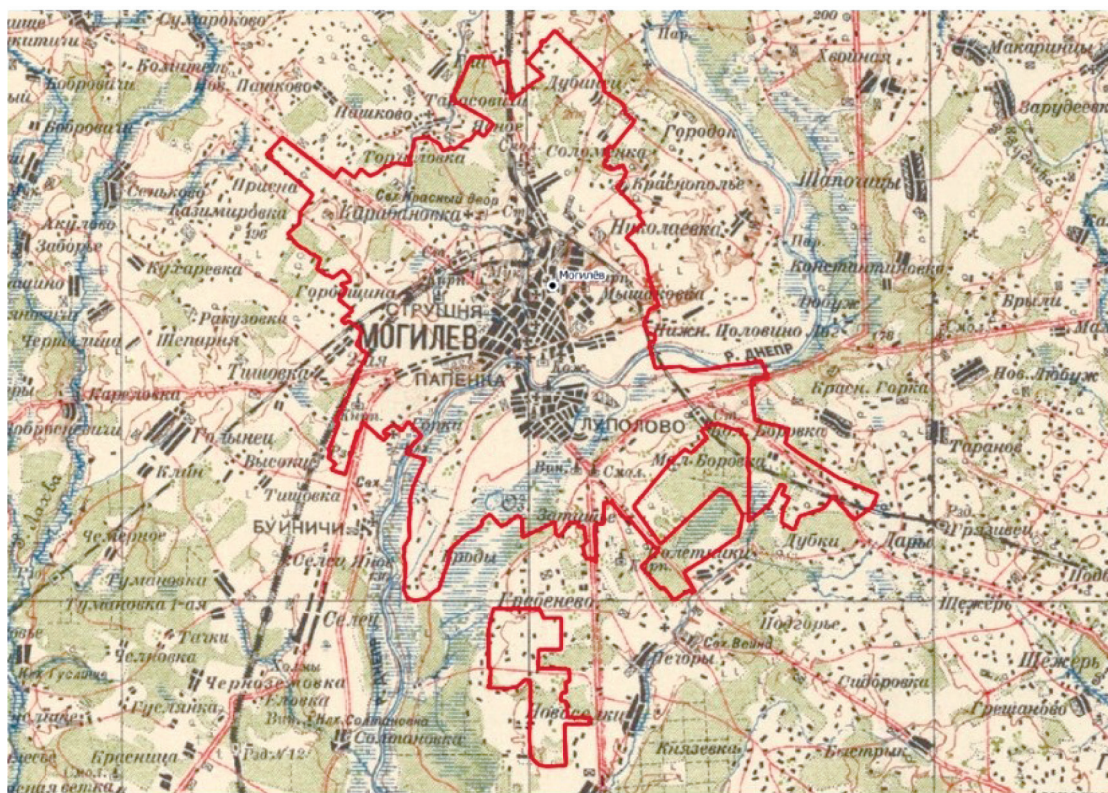
Рис. 11. Динамика структуры сельского расселения Могилевского района (в процентах) (рисунок автора)
 Fig. 11. Rural settlement structure dynamics in the Mogilev region (in percent) (the figure is made by the author)

Анализ пространственно-территориальной организации

В дореволюционный период территория современного района входила в состав одноименной Могилевской губернии и была поделена между Быховским, Горецким, Могилевским и Чаусским уездами. К 1913 г. в состав Могилевского уезда входило 13 волостей, центры которых выступали в роли центров сельского расселения: Бельничская (с. Бельнич), Вендрожская (с. Вендрож), Княжицкая (м. Княжицы), Вейнянская (с. Вейняны), Круглянская (м. Круглое), Нежковская (с. Нежков), Павловичская (с. Павловичи), Польшковичская (с. Польшковичи), Тетеринская (м. Тетерин), Толпечицкая (д. Толпечицы), Церковищенская (с. Церковище), Черноручская (с. Черноручье), Шкловская (м. Новый Шклов).

С наступлением советского периода началось поглощение близлежащих к районному центру (г. Могилеву) СНП, что можно считать началом периода урбанизации, обусловленным развитием индустрии на территории республики, проходившим в результате начавшихся мероприятий новой экономической политики. В 1921 г. решением Могилевского горисполкома некоторые деревни Польш-

ковской, Княжицкой и Вейнянской волостей были принудительно включены в городскую черту (хутора Половинный Лог, земли около Святого озера, Броды, Холмы, 1-я Тишовка, 2-й совхоз «Краснополье» и Машековка). При этом следует отметить, что ряд деревень (Малый Печерск, Карабановка, Загишье, Горки, хутор Городщина) оставлен в границах уезда. Интересно, что немного позднее некоторые СНП (1-я Тишовка, Половинный Лог, Краснополье, Броды, Холмы) уже отмечены на топографической карте 1935 г. как отдельные деревни (рис. 12). Позднее с карт Могилевского уезда/района исчезли и другие СНП. Так, не стало деревни Коробановка, о ее существовании сейчас напоминают лишь две одноименные улицы (Верхняя и Нижняя Карабановка). Деревня Поповка располагалась в довоенное время вдоль современного пр. Димитрова. Деревня Давыдовка, ставшая частью города и укрупнившаяся в советское время, сегодня носит неофициальное название «поселок Абиссиния». Деревня Титовка стояла на выезде из Могилева вдоль Быховского шоссе. В 1931 г. частью города стало местечко Луполово в результате упразднения одноименного района (рис. 13, 14).



— современные границы г. Могилева / modern borders of Mogilev

Рис. 12. Фрагмент карты Могилевского района (1935 г.)

Fig. 12. The Mogilev region map tile (1935)

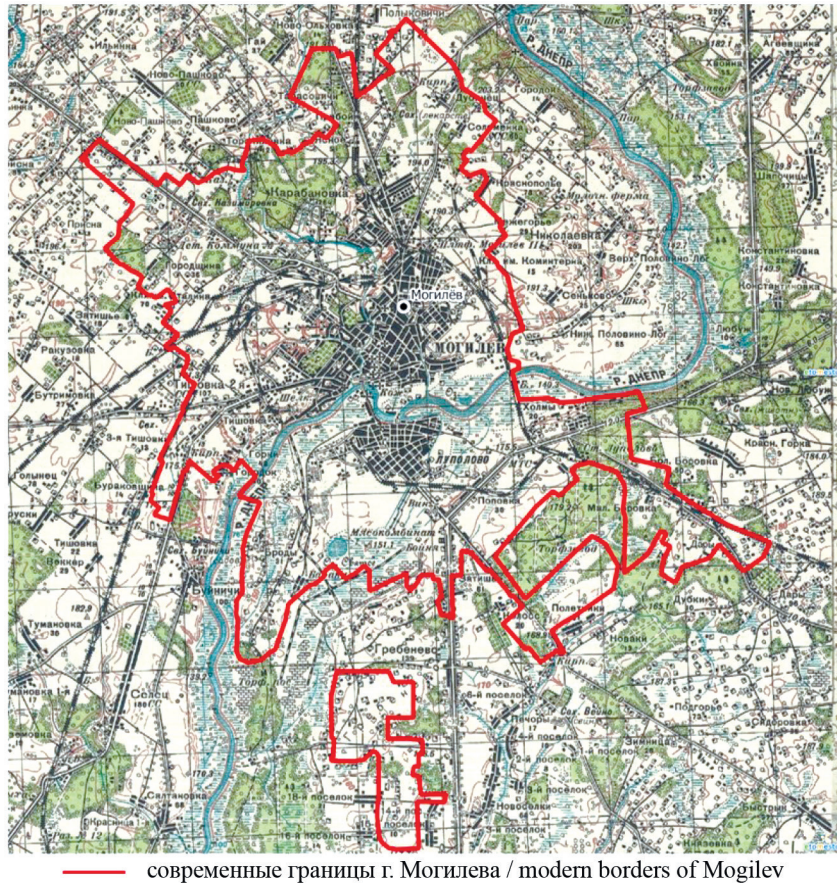


Рис. 13. Фрагмент карты Могилевского района (1941 г.)

Fig. 13. The Mogilev region map tile (1941)

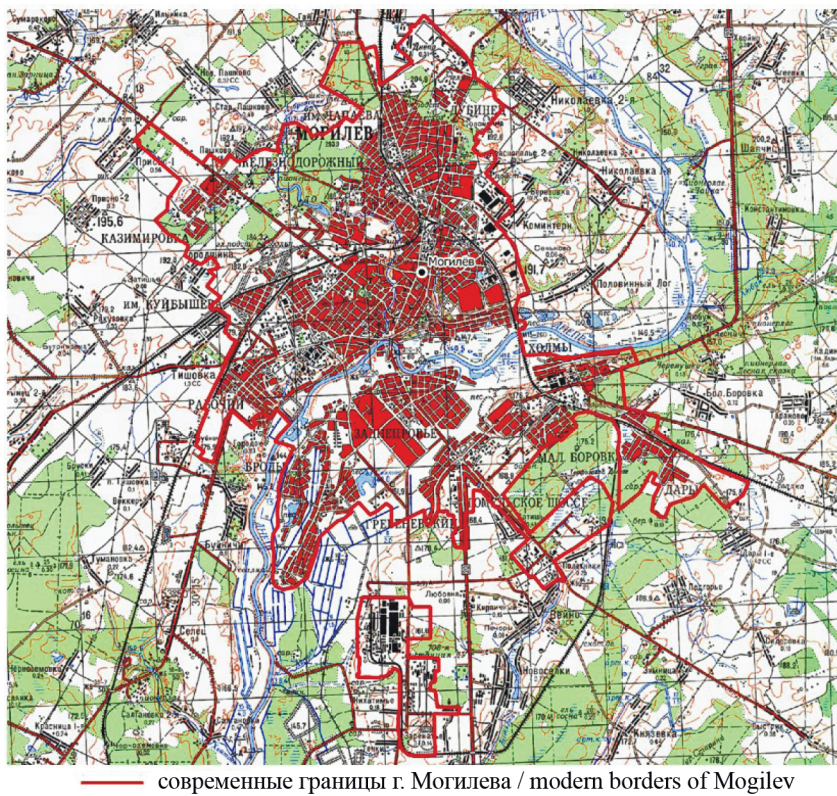


Рис. 14. Фрагмент карты Могилевского района (1989 г.)

Fig. 14. The Mogilev region map tile (1989)

Особенно интенсивными в БССР стали урбанизационные процессы в послевоенный период (с середины 1950-х гг.), что обусловлено социально-экономическими, историческими, природными и политическими факторами. К основным предпосылкам ускорения темпа урбанизации следует отнести лоббирование размещения на территории БССР новых промышленных производств, требующих привлечения трудовых ресурсов; принятия мер, направленных на повышение уровня и дисциплинированности трудовых ресурсов. Так, к началу 1970-х гг. с карт Могилевского района исчезла д. Гребенево, на месте которой было размещено крупнейшее в Европе химическое производство (Могилевский комбинат синтетического волокна), его территория была включена в черту г. Могилева. Сегодня о деревне напоминает лишь расположенный чуть западнее одноименный городской район.

В южной части Могилева ранее находились хутор и поселок Горки, на месте которых сейчас находится микрорайон «Рабочий поселок». На востоке ранее располагалась д. Холмы, ставшая впоследствии одним из городских районов. На севере в довоенное время существовала д. Дубенец, а рядом с ней — кирпичные заводы. Позднее на этом месте был образован жилой район, носивший название «8-й кирпичный», а в настоящее время — жи-

лой район КСИ (комбината силикатных изделий). Неподалеку расположился построенный на месте одноименной деревни микрорайон Соломенка. В западной части Могилева вдоль Минского шоссе на месте д. Казимировка с 1978 г. по настоящее время развивается микрорайон с одноименным названием, а на месте хутора Городщина — микрорайон Спутник, активная застройка которого началась в постсоветский период (рис. 14).

В *современный период* укрупнение города за счет присоединения сельских территорий продолжилось. Так, в середине 2000-х гг. к территории Могилева были присоединены д. Малая Боровка и частично д. Дары (рис. 15).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный ретроспективный анализ позволил выделить три исторических периода: дореволюционный, советский и современный, оказавшие существенное влияние на формирование системы сельского расселения Беларуси. Следует отметить, что трансформация расселения происходила под воздействием главным образом социальных и политических факторов. Обнаружены изменения в структуре сельского расселения Беларуси за период с 1909 по 2019 г. Основной тенденцией является

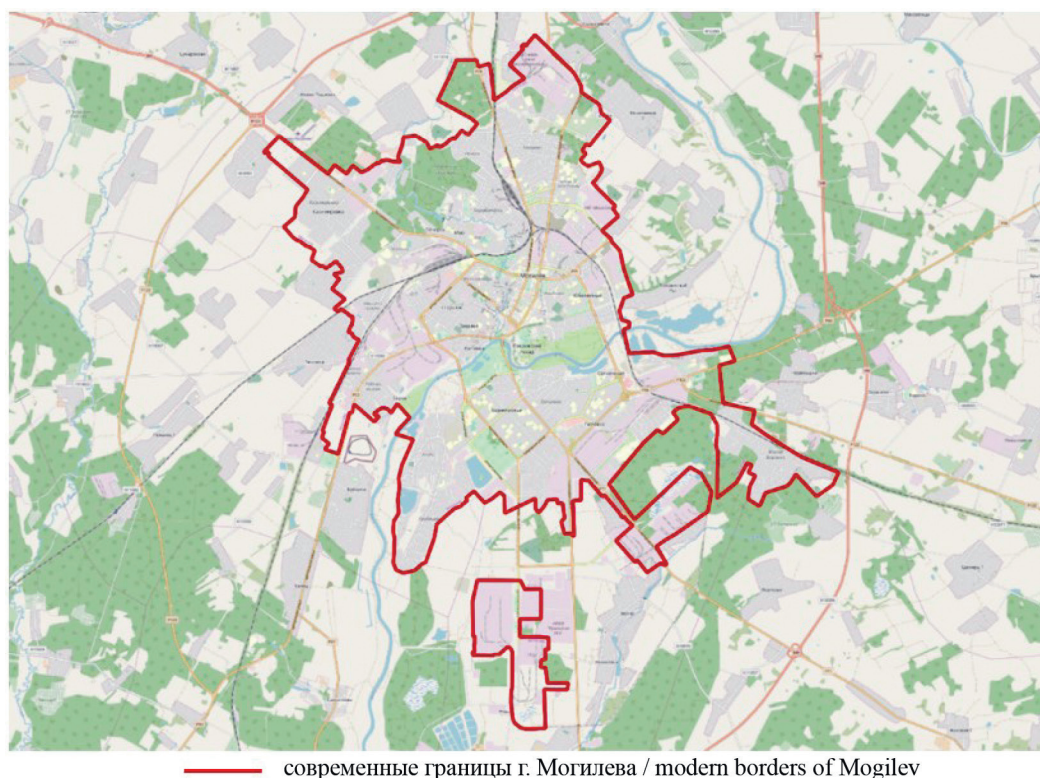


Рис. 15. Фрагмент карты Могилевского района (2019 г.)

Fig. 15. The Mogilev region map tile (2019)

поляризация сети, увеличение доли и численности населения крупных СНП, вымывание больших и средних СНП, деградация малых СНП.

В результате ретроспективного анализа выявлены две условные группы трансформации СНП: развитие и деградация. В группе «Развитие» выделено два вида преобразования: 1) переход в новую форму «городское поселение» связан с увеличением численности населения, количества производств и др.; 2) рост и укрепление с сохранением признаков СНП «переход в агрогородок» основан на увеличении численности населения, укреплении с/х производств и др. Во второй группе «Деградация» выделены следующие формы преобразования: 1) деградация (в результате обезлюдения); 2) исчезновение (поглощение в результате роста городов и агломераций).

Установлены способы пространственно-территориальной реорганизации сельского расселения, как одного из видов трансформации сельского расселения, предполагающего переселение жителей из

сельских поселений в города или другие сельские населенные пункты. Первый способ — переселение в город — подразумевает полное/частичное физическое перемещение сельских жителей из села в город или включение территорий СНП в состав города. Второй способ — переселение в СНП — центры системы расселения — связан с перемещением жителей в более крупный и развитый СНП (центр сельсовета/агрогородок) или сменой типа СНП. Третий способ — переселение в рядовые СНП — предполагает перемещение жителей в существующие/создаваемые СНП по причине ликвидации прежних СНП, связанное с невозможностью дальнейшего проживания, например, в результате техногенных катастроф, стихийных бедствий, проводимых реформ и т.п.

Перспективы дальнейших исследований связаны с концептуализацией модели пространственно-территориальной организации системы сельского расселения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rzasa K., Ogryzek M., Żróbek R.* The land transfer from the state treasury to local government units as a factor of social development of rural areas in Poland // *Land*. 2019. Vol. 8. Issue 11. P. 170. DOI: 10.3390/land8110170
2. *Jürgenson E., Rasva M.* The changing structure and concentration of agricultural land holdings in Estonia and possible threat for rural areas // *Land*. 2020. Vol. 9. Issue 2. P. 41. DOI: 10.3390/land9020041
3. *Shubenkov M.V., Khomyakov D.A.* Space of the regional agglomerations and re-industrialization // *Journal of Applied Engineering Science*. 2016. Vol. 14. No. 1. Pp. 154–162. DOI: 10.5937/jaes14-10217
4. *Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В.* Принципы стратегического планирования развития территорий (на примере федеральной земли Бавария) // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. Вып. 2 (125). С. 158–168. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.158-168
5. *Perkova M.V., Baklazhenko E.V., Vaytens A.G.* Urban conflicts of the Belgorod regional settlement system and its elements // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 463. P. 032014. DOI: 10.1088/1757-899X/463/3/032014
6. *Ivitskaya S., Prihodko V.* Innovative technologies in the field of topography, land management, territorial planning, construction and architecture // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 365. P. 022030. DOI: 10.1088/1757-899X/365/2/022030
7. *Stych P., Kabrda J., Bicik I., Lastovicka J.* Regional differentiation of long-term land use changes: a case study of Czechia // *Land*. 2019. Vol. 8. Issue 11. P. 165. DOI: 10.3390/land8110165
8. *Борисов М.В., Бакаева Н.В., Черняева И.В.* Нормативно-техническое регулирование в области озеленения городской среды // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 212–222. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.212-222
9. *Щербина Е.В., Маршалкович А.С., Зотова Е.А.* Устойчивое развитие сельских поселений: значение экологических факторов // *Экология урбанизированных территорий*. 2018. № 2. С. 78–83. DOI: 10.24411/1816-1863-2018-12078
10. *Rover O.J., de Gennaro B.C., Roselli L.* Social innovation and sustainable rural development: the case of a Brazilian agroecology network // *Sustainability*. 2016. Vol. 9. Issue 1. P. 3. DOI: 10.3390/su9010003
11. *Alonso G.C., Masot A.N.* Towards rural sustainable development? Contributions of the EAFRD 2007–2013 in low demographic density territories: The Case of Extremadura (SW Spain) // *Sustainability*. 2017. Vol. 9. Issue 7. P. 1173. DOI: 10.3390/su9071173
12. *Prevolšek B., Maksimović A., Puška A., Pažek K., Žibert M., Rozman Č.* Sustainable development of ethno-villages in bosnia and herzegovina — a multi criteria assessment // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Issue 4. P. 1399. DOI: 10.3390/su12041399

13. Данилина Н.В. «Nomadic Urbanism» — современный подход к планированию городских общественных территорий // Экология урбанизированных территорий. 2018. № 2. С. 91–95. DOI: 10.24411/1816-1863-2018-12091
14. Krčálková Š., Janovská V. Land tenure as a factor underlying agricultural landscape changes in Europe: a review // Scientia Agriculturae Bohemica. 2016. Vol. 47. Issue 2. Pp. 68–81. DOI: 10.1515/sab-2016-0011
15. Zhao Y., Leng H., Sun P., Yuan Q. A spatial zoning model of municipal administrative areas based on major function-oriented zones // Sustainability. 2018. Vol. 10. Issue 9. P. 2976. DOI: 10.3390/su10092976
16. Есаулов Г.В. Об идентичности в архитектуре и градостроительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 4. С. 12–18. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-4-12-18
17. Евсеева Е.В., Ильвицкая С.В. Культурный ландшафт // Архитектура и строительство России. 2019. № 3 (231). С. 116–117.
18. Щербина Е.В., Белал А.А. Значение объектов исторического и культурного наследия при реконструкции и восстановлении городов // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 4 (127). С. 417–426. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.4.417-426
19. Щербина Е.В., Слепнев М.А. Экологическое картографирование при градостроительном проектировании природно-антропогенных территориальных комплексов // Экология урбанизированных территорий. 2016. № 2. С. 92–97.
20. Щербина Е.В., Алсус М.М. Значение природных условий в региональном планировании особенности пустынного региона Сирии // Экология урбанизированных территорий. 2019. № 3. С. 107–113. DOI: 10.24411/1816-1863-2019-13107
21. McConnell W.J., Viña A. Interactions between food security and land use in the context of global change // Land. 2018. Vol. 7. Issue 2. P. 53. DOI: 10.3390/land7020053
22. Shcherbina E., Gorbenkova E. Factors influencing the rural settlement development // IFAC-PapersOnLine. 2019. Vol. 52. Issue 25. Pp. 231–235. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.12.478
23. Shcherbina E.V., Gorbenkova E.V. Cluster approach in rural settlement development // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. P. 032086. DOI: 10.1088/1757-899X/753/3/032086
24. Zhao Y., Leng H., Sun P., Yuan Q. Application and validation of a municipal administrative area spatial zoning model in village-town system planning // Sustainability. 2019. Vol. 11. Issue 7. P. 1855. DOI: 10.3390/su11071855
25. Honeck E., Moilanen A., Guinaudeau B., Wyler N., Schlaepfer M.A., Martin P. et al. Implementing green infrastructure for the spatial planning of peri-urban areas in Geneva, Switzerland // Sustainability. 2020. Vol. 12. Issue 4. P. 1387. DOI: 10.3390/su12041387
26. Egidi G., Halbac-Cotoara-Zamfir R., Cividino S., Quaranta G., Salvati L., Colantoni A. Rural in town: traditional agriculture, population trends, and long-term urban expansion in metropolitan rome // Land. 2020. Vol. 9. Issue 2. P. 53. DOI: 10.3390/land9020053
27. Теличенко В.И., Щербина Е.В. Социально-природно-техногенная система устойчивой среды жизнедеятельности // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 6. С. 5–12. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.5-12
28. Кубецкая Л.И., Кудрявцева Н.О. Историко-генетические особенности расселения и градостроительная структура русских поселений Севера как отражение национальной самобытности и культурного достояния России // Градостроительство. 2019. № 5 (63). С. 36–48.
29. Кудрявцева Н.О., Кубецкая Л.И. Историко-генетические взаимосвязи Псковско-Новгородской системы расселения // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 1. С. 44–52. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-1-44-52
30. Alekseev A.I., Safronov S.G. Subsidiary household farming in Russian regions in the late 20th–Early 21st centuries // Regional Research of Russia. 2018. Vol. 8. Issue 4. Pp. 364–374. DOI: 10.1134/S2079970518040019
31. Антипова Е.А., Шавель А.Н., Занрудский И.И. Экономико-географические и социально-экономические различия регионов Республики Беларусь как основа совершенствования административно-территориального деления // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2019. № 1. С. 3–21. DOI: 10.33581/2521-6740-2019-1-3-21
32. Антипова Е.А. Демографическое развитие Республики Беларусь в XXI веке: тенденции, региональные различия, проблемы // Народонаселение. 2016. № 1–1 (71–1). С. 5–15.
33. Горбенкова Е.В. Факторы, определяющие развитие сельского расселения // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 7. С. 805–818. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.7.805-818.
34. Щербина Е.В., Горбенкова Е.В. Современные подходы градостроительного проектирования сельских поселений и малых городов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2018. № 4 (24). С. 105–116.
35. Buchecker M., Frick J. The implications of urbanization for inhabitants' relationship to their residential environment // Sustainability. 2020. Vol. 12. Issue 4. P. 1624. DOI: 10.3390/su12041624
36. Pazhuhun M., Shahraki S.Z., Kaveerad N., Cividino S., Clemente M., Salvati L. Factors underlying life quality in urban contexts: evidence from an indus-

trial city (Arak, Iran) // Sustainability. 2020. Vol. 12. Issue 6. P. 2274. DOI: 10.3390/su12062274

37. Gibas P., Majorek A. Analysis of land-use change between 2012–2018 in Europe in terms of sustainable development // Land. 2020. Vol. 9. Issue 2. P. 46. DOI: 10.3390/land9020046

Поступила в редакцию 17 марта 2020 г.

Принята в доработанном виде 8 апреля 2020 г.

Одобрена для публикации 29 апреля 2020 г.

ОБ АВТОРЕ: Елена Владимировна Горбенкова — кандидат технических наук, доцент, советник РААСН, доцент кафедры автомобильные дороги; Белорусско-Российский университет; 212000, Беларусь, г. Могилев, пр-т Мира, д. 43; SPIN-код: 1624-4866, Scopus: 57192370952; ResearcherID: P-8330-2017, ORCID: 0000-0002-0410-0071; gorbenkova@yandex.ru.

REFERENCES

1. Rzaşa K., Ogryzek M., Żróbek R. The Land Transfer from the State Treasury to Local Government Units as a Factor of Social Development of Rural Areas in Poland. *Land*. 2019; 8(11):170. DOI: 10.3390/land8110170

2. Jürgenson E., Rasva M. The Changing Structure and Concentration of Agricultural Land Holdings in Estonia and Possible Threat for Rural Areas. *Land*. 2020; 9(2):41. DOI: 10.3390/land9020041

3. Shubenkov M.V., Khomyakov D.A. Space of the regional agglomerations and reindustrialization. *Journal of Applied Engineering Science*. 2016; 14(1):154-162. DOI: 10.5937/jaes14-10217

4. Ilyichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. Principles of area development strategic planning (the case of the free state of Bavaria). *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14(2):(125):158-168. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.158-168 (rus.).

5. Perkova M.V., Baklazhenko E.V., Vaytens A.G. Urban Conflicts of the Belgorod Regional Settlement System and its Elements. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 463:032014. DOI: 10.1088/1757-899X/463/3/032014

6. Ilvitskaya S., Prihodko V. Innovative technologies in the field of topography, land management, territorial planning, construction and architecture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 365:022030. DOI: 10.1088/1757-899X/365/2/022030

7. Stych P., Kabrda J., Bicik I., Lastovicka J. Regional Differentiation of Long-Term Land Use Changes: A Case Study of Czechia. *Land*. 2019; 8(11):165. DOI: 10.3390/land8110165

8. Borisov M.V., Bakaeva N.V., Chernyaeva I.V. Normative and technical regulation in the field of urban green space arrangement. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(2):212-222. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.212-222 (rus.).

38. Фомкина А.А. Трансформация сельских систем расселения в староосвоенном Нечерноземье с конца XIX до начала XXI в. // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2017. № 5. С. 68–75.

9. Shcherbina E.V., Marshalkovich A.S., Zotova E.A. Sustainable development of rural settlements: the importance of environmental factors. *Ecology of Urban Areas*. 2018; 2:78-83. DOI: 10.24411/1816-1863-2018-12078

10. Rover O.J., de Gennaro B.C., Roselli L. Social Innovation and Sustainable Rural Development: The Case of a Brazilian Agroecology Network. *Sustainability*. 2016; 9(1):3. DOI: 10.3390/su9010003

11. Alonso G.C., Masot A.N. Towards Rural Sustainable Development? Contributions of the EAFRD 2007–2013 in Low Demographic Density Territories: The Case of Extremadura (SW Spain). *Sustainability*. 2017; 9(7):1173. DOI: 10.3390/su9071173

12. Prevolšek B., Maksimović A., Puška A., Pažek K., Žibert M., Rozman Č. Sustainable Development of Ethno-Villages in Bosnia and Herzegovina — A Multi Criteria Assessment. *Sustainability*. 2020; 12(4):1399. DOI: 10.3390/su12041399

13. Danilina N.V. «Nomadic urbanism» — the modern conception of public areas urban planning. *Ecology of Urban Areas*. 2018; 2:91-95. DOI: 10.24411/1816-1863-2018-12091 (rus.).

14. Krčilková Š., Janovská V. Land Tenure as a Factor Underlying Agricultural Landscape Changes in Europe: A Review. *Scientia Agriculturae Bohemica*. 2016; 47(2):68-81. DOI: 10.1515/sab-2016-0011

15. Zhao Y., Leng H., Sun P., Yuan Q. A Spatial Zoning Model of Municipal Administrative Areas Based on Major Function-Oriented Zones. *Sustainability*. 2018; 10(9):2976. DOI: 10.3390/su10092976

16. Esaulov G.V. On Identity in Architecture and Urban Planning. *Academia. Architecture and construction*. 2018; 4:12-18. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-4-12-18 (rus.).

17. Evseeva E.V., Ilvitskaya S.V. Cultural landscape. *Architecture and Construction of Russia*. 2019; 3(231):116-117. (rus.).

18. Shcherbina E.V., Belal A.A. The value of historical and cultural heritage in the reconstruction and restoration of cities. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14(4):417-426. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.4.417-426 (rus.).
19. Tsherbina E.V., Slepnyov M.A. Ecological Mapping at Urban Design Natural-Anthropogenic Territorial Complexes. *Ecology of Urban Areas*. 2016; 2:92-97. (rus.).
20. Sherbina E.V., Alsus M.M. Value of natural conditions in regional planning peculiarities of the desert region of Syria. *Ecology of Urban Areas*. 2019; 3:107-133. DOI: 10.24411/1816-1863-2019-13107 (rus.).
21. McConnell W.J., Viña A. Interactions between Food Security and Land Use in the Context of Global Change. *Land*. 2018; 7(2):53. DOI: 10.3390/land7020053
22. Shcherbina E., Gorbenkova E. Factors Influencing the Rural Settlement Development. *IFAC-PapersOnLine*. 2019; 52(25):231-235. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.12.478
23. Shcherbina E.V., Gorbenkova E.V. Cluster Approach in Rural Settlement Development. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 753:032086. DOI: 10.1088/1757-899X/753/3/032086
24. Zhao Y., Leng H., Sun P., Yuan Q. Application and Validation of a Municipal Administrative Area Spatial Zoning Model in Village-Town System Planning. *Sustainability*. 2019; 11(7):1855. DOI: 10.3390/su11071855
25. Honeck E., Moilanen A., Guinaudeau B., Wyler N., Schlaepfer M.A., Martin P. et al. Implementing Green Infrastructure for the Spatial Planning of Peri-Urban Areas in Geneva, Switzerland. *Sustainability*. 2020; 12(4):1387. DOI: 10.3390/su12041387
26. Egidi G., Halbac-Cotoara-Zamfir R., Cividino S., Quaranta G., Salvati L., Colantoni A. Rural in Town: Traditional Agriculture, Population Trends, and Long-Term Urban Expansion in Metropolitan Rome. *Land*. 2020; 9(2):53. DOI: 10.3390/land9020053
27. Telichenko V.I., Shcherbina E.V. Social-Natural-Technogenic System of Sustainable Environment of Vital Activity. *Industrial and Civil Engineering*. 2019; 6:5-12. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.5-12 (rus.).
28. Kubeckaya L.I., Kudryavtseva N.O. Historical and Genetic Features of Settlement and Urban Structure of Russian Settlements of The North as a Reflection of the National Identity and Cultural Heritage of Russia. *City and Town Planning*. 2019; 5(63):36-48. (rus.).
29. Kudryavtseva N.O., Kubeckaya L.I. Historical-Genetic Interconnections of the Pskov-Novgorod Settlement System. *Academia. Architecture and construction*. 2018; 1:44-52. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-1-44-52 (rus.).
30. Alekseev A.I., Safronov S.G. Subsidiary Household Farming in Russian Regions in the Late 20th–Early 21st Centuries. *Regional Research of Russia*. 2018; 8(4):364-374. DOI: 10.1134/S2079970518040019
31. Antipova E.A., Shavel A.N., Zaprudskij I.I. Economic and geographical and socio-economic differences of regions of the Republic of Belarus as a basis for improvement of administrative-territorial division. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2019; 1:3-21. DOI: 10.33581/2521-6740-2019-1-3-21 (rus.).
32. Antipova E.A. Demographic development of republic of Belarus in XXI century: trends, regional differences, problems. *Population*. 2016; 1-1(71-1):5-15. (rus.).
33. Gorbenkova E.V. Factors shaping the development of rural settlement. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14:7:805-818. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.7.805-818 (rus.).
34. Shcherbina E.V., Gorbenkova E.V. Modern approaches of urban development design of rural settlements and small cities. *Biospheric compatibility: human, region, technologies*. 2018; 4(24):105-116. (rus.).
35. Buchecker M., Frick J. The Implications of Urbanization for Inhabitants' Relationship to Their Residential Environment. *Sustainability*. 2020; 12(4):1624. DOI: 10.3390/su12041624
36. Pazhuhan M., Shahraki S.Z., Kaveerad N., Cividino S., Clemente M., Salvati L. Factors Underlying Life Quality in Urban Contexts: Evidence from an Industrial City (Arak, Iran). *Sustainability*. 2020; 12(6):2274. DOI: 10.3390/su12062274
37. Gibas P., Majorek A. Analysis of Land-Use Change between 2012–2018 in Europe in Terms of Sustainable Development. *Land*. 2020; 9(2):46. DOI: 10.3390/land9020046
38. Fomkina A.A. Transformation of rural settlement system in the old-developed Non-Chernozem area from the end of the 19th to the beginning of the 21st century. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*. 2017; 5:68-75. (rus.).

Received March 17, 2020.

Adopted in a revised form on April 8, 2020.

Approved for publication April 29, 2020.

BIONOTES: **Elena V. Gorbenkova** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Adviser of RAACS, Associate Professor at the Highways Department; **Belarusian-Russian University**; 43 Mira av., Mogilev, 212000, Republic of Belarus; SPIN-code: 1624-4866, Scopus: 57192370952; ResearcherID: P-8330-2017, ORCID: 0000-0002-0410-0071; gorbenkova@yandex.ru.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ. ДИСКУССИИ И РЕЦЕНЗИИ. ИНФОРМАЦИЯ

К 75-Й ГОДОВЩИНЕ ПОБЕДЫ В ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЕ

Водоснабжение войск в Великой Отечественной войне How troops were supplied with water during the Great Patriotic war

Е.А. Корчагин

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

ИЗ ИСТОРИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В ВОЙСКОВЫХ ОПЕРАЦИЯХ

Военные деятели всех времен и народов придавали первостепенное значение вопросу водоснабжения войск. Это связано с тем, что без воды человек может прожить всего 5–6 дней. В мировой военной истории известно большое количество фактов, когда блестяще задуманные операции заканчивались неудачей из-за отсутствия достаточного водоснабжения. Крепости, считавшиеся неприступными, сдавались неприятелю, в случае если не были решены вопросы снабжения войск водой. Водоснабжением войск занимались специальные гидротехнические подразделения [1, 2].

Александр Македонский, организуя свои походы, устраивал на пути следования войск большие склады с продовольствием, располагаемые, как правило, вблизи от источников водоснабжения.

Во время Кавказского похода (66–65 гг.) Помпей для того, чтобы избежать потерь при переходе через безводный район, приказал наполнить водой и нести на себе 10 000 мехов и таким образом успешно достиг реки.

Во время Александрийской войны (48–47 гг.) Юлий Цезарь занял часть города Александрии. Первым мероприятием, которое предприняли против него его противники (Ганимед) была попытка отрезать войска Цезаря от пресной воды. Однако Цезарь успел добыть пресную воду из некоторых родников и из вырытых колодцев на берегу моря.

Велисарий осаждал Равенну в 539 г. Он отвел от нее воду и тем самым вынудил находившихся в ней сдать.

Во время похода Тимур в 1402 г., двигаясь к Ангор, высылал на маршрут конницу и пехоту для отрыва водных колодцев.

Владимир Великий в 988 г. вел осадные безуспешные работы под Корсунью, и только перекрыв водоснабжение, принудил город к сдаче.

Одной из причин, ускорившей взятие Казани Иваном IV в 1552 г., был подкоп под тайник-ключ в берегу реки Казанки у Муралеевых ворот, к которому был потайной ход из города. Этот ключ служил единственным источником водоснабжения осажденного города. Все это в значительной мере отразилось на стойкости защитников города.

Во время осады Троице-Сергиевой лавры в 1608 г. положение осажденных резко ухудшилось после того, как осаждавшим удалось приблизить блокадную линию к монастырским стенам. Защитники монастыря не могли брать воду из прудов и выгонять скот на водопой. С наступлением зимы от дурной воды и желудочных заболеваний умирало до 100 человек в день. Монастырь снабжался водой посредством подземных труб, проведенных из Нагорного пруда. Лисовский, руководивший осадой, направил людей разрывать плотины этого пруда и спустить воду из него через Служень-овраг в реку Кончуру. Захватив ночью польского часового, осажденные узнали о плане раскопки плотин. В ту же ночь все трубы были открыты, и вода наполнила все запасные водохранилища в монастыре, а высланный отряд перебил неприятельских рабочих, раскапывавших плотину.

Во время первого Крымского похода князя Голицына в 1687 г. татары на пути следования его войск зажгли степь. Войско Голицына прошло за двое суток не более 12-ти верст. Нигде не было ни травы, ни воды. Люди и лошади изнемогали от зноя и жажды, и задохнулись от дыма степного пожара. Данные обстоятельства в значительной мере явились причиной неудачи этого похода.

Во время второго похода князь Голицын подошел к Перекопу, но прежде, чем вторгнуться в Крым, нужно было взять крепость, а войско, уже двое суток бывшее без воды, справа и слева имело только соленую воду. Колодцев с пресной водой не было, ратные люди изнемогали от жажды, а лошади издыхали во множестве. Еще несколько дней и не на чем было бы везти пушки и обозы. Делать было нечего, приходилось опять возвращаться назад.

В 1710 г. русские осаждали Ревель. После того, как русские лишили осажденных пресной воды, жители Ревеля были доведены до крайности и сдали город.

Во время Крымского похода Миниха в 1775 г. недостаток воды и чрезвычайная жара сильно ослабили русскую армию. До 1/3 войска была больна. Все это вызвало необходимость сделать перерыв в походе.

Во время Русско-японской войны 1904–1905 гг. водоснабжение частей, в том числе и на переднем крае, обеспечивалось в значительной мере силами саперных батальонов.

Во время войны 1914–1917 гг. в России выявилась необходимость создания при штабах армии специальных гидротехнических подразделений для организации водоснабжения войск.

В Первую мировую войну по причине плохого водоснабжения во французской армии до весны 1916 г. было зафиксировано около 140 000 заболеваний брюшным тифом и дизентерией. В американской армии в июле – августе 1918 г. — около 150 000 кишечных заболеваний. В районе Шато-Тиерри в июле 1918 г. в большинстве действующих частей болело одновременно до 70 % личного состава [3].

ОРГАНИЗАЦИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ВОЙСК

Первоначально норма воды на бойца в день на марше была принята 1,5 л, на стоянке — 4,5 л, животного в день на марше — 10 л, на стоянке — 15 л [3].

В русской армии устанавливались такие нормы водопотребления: на три дня по одному ведру на пять человек, и на два дня для лошадей и порционного скота, считая по 1,5 ведра в сутки на голову. В Красноводске и Михайловском заливе норма водопотребления была определена: на каждого нижнего чина по 1 ведру, на офицера по 3 ведра, на семейных офицеров по 12 ведер в сутки. Запасы воды на марше по весу в среднем составляли 1/5 всех грузов [2].

С целью обеспечения большей маневренности войск в итальянской армии увеличили до 2-х литров носимый запас воды за счет сокращения с 200 до 110 носимого запаса патронов. Суточная норма воды была принята равной 4–6 л на одного человека. Примерный суточный расход воды в умеренном климате приведен в табл. 1.

В качестве источника водоснабжения использовались родники, колодцы, ручьи, а также дистиллированная морская вода. В качестве основной характеристики качества воды служил показатель pH, который должен был составлять от 4,0 до 7,2. Основное требование к воде — безвредность. Прочие требования были сильно понижены. Дивизионные инженеры при продвижении войск организовыва-

ли водные пункты на открытых водоемах и водотоках с обработкой воды. Дозы хлора 1–2 мл на литр. Практиковалось в отдельных случаях хлорирование таблетками [5].

При подготовке к войне военное министерство любого государства подробно изучало геологические условия и наличие источников водоснабжения [4].

Все водоснабжение (за исключением водных перевозочных средств по дорогам) в английской армии для всех целей и для всех войск и подразделений на фронте, входило в обязанности военных инженеров. Войсковые командиры отвечали за подвоз воды от водораспределительных пунктов и за те источники воды и качество воды, которые оборудовались самими войсками.

За чистоту воды отвечали как инженеры, так и врачи. Врачи обязаны были исследовать воду и давать свои заключения о годности ее для питья.

Водоснабженческие роты использовались главным образом в районах концентрации войск, в только что отбитых у противника районах, в безводных или болотистых районах. Кроме работы по очистке и перевозке воды, водоснабженческие роты производили обследование источников воды и исследовали воду в занимаемых районах, производили надзор за водоснабжением из источников, построенных инженерными частями.

В каждой армии имелся при штабе геолог. Имелись и небольшие геологические группы, которые направлялись в те районы, где этого требовала обстановка. В армиях создавались особые гидротехнические отделы, в которые привлекались квалифицированные гражданские специалисты.

Части водоснабжения продвигались вместе с подразделениями пехоты. Во время продвижения основной их задачей была очистка воды, в том числе дистилляция морской воды. Дивизионные инженеры при продвижении войск организовывали водные пункты на открытых водоемах и водотоках с обработкой воды, которые тщательно маскировались при соблюдении следующих мероприятий:

1. Расстояние между транспортом с порожней тарой и водным пунктом должно было составлять не менее 90 м.
2. Водные пункты размещались в укрытиях.
3. Не допускалось скопления и задержки тары у водного пункта.

Для снабжения армейских частей, тылов и резервов водные пункты организовывались батальонами водоснабжения, располагавшимися в полосе дивизий, у госпиталей, хлебопекарен и прочих крупнейших потребителей воды [5].

Население использовало воду из луж и воронок. В этом случае эпидемии были неизбежны. Гражданское население по дипломатическим соображениям обеспечивалось водой из воинских источников воды. Привозная вода обрабатывалась путем добавления хлора непосредственно в автоцистерны.

На гидротехнические отделы возлагалась вся работа по водоснабжению войск. При этом выполнялось следующее:

Табл. 1. Примерный суточный расход воды в умеренном климате

Потребитель воды	Объем воды, л
Потребность на одного человека в тылу	68
Потребность на одного человека в лагере	22,7
Абсолютный минимум потребления на отдыхе	4,5
Потребность на марше не более 3-х суток	13
Потребность на одну лошадь нормально	45
Абсолютный минимум на одну лошадь	18,6
Потребность на одного верблюда	45
Потребность на одну душевую точку	900

1. Обследование, восстановление старых и сооружение новых источников воды.

2. Установка водоподъемных средств и оборудование их двигателями. Установленные на начальном этапе двигатели внутреннего сгорания заменялись электрическими, питаемыми от общих сетей.

3. Укладка сетей временных водопроводов.

Гидротехнические отделы располагали многочисленным штатом, парком запасных частей, лабораторией и транспортными средствами. Ежедневно работало до 500 чел. и 25 грузовиков.

Геологическими службами различных армий для целей водоснабжения издавались информационные материалы. Американская экспедиционная армия напечатала несколько карт, иллюстрирующих распределение подземных и поверхностных вод. На этих картах указывалось месторасположение источников воды, площади, где возможно устройство не глубоких отрываемых колодцев, и площади, где распространены более глубокие подземные воды, а также необходимые сведения относительно расходов рек (масштаб карты 1:25 000). Батальон водоснабжения имел оборудование:

1. Стандартные переносные очистные установки (4 шт.), которые могли работать без промывки до 6–12 ч в зависимости от качества воды. Для очень плохой воды это время сокращалось. Установка состояла из напорного фильтра — насоса, хлоратора, контактного резервуара и тканевого резервуара.

2. Дистилляционные установки (5 шт.) производительностью 250 и 100 галлонов в час. Эти установки состояли из кипятильника, испарителя, конденсатора и холодильника.

Для транспортировки воды применялись стандартные двадцатилитровые бидоны и подручная тара. Для хранения использовались резервуары емкостью 3000 галлонов (11 250 л). На одном из водных пунктов для питания мелких судов был проложен водопровод длиной 2000 футов (610 м) и диаметром 2 дюйма. Один из наиболее оборудованных водных пунктов имел два резервуара по 3000 галлонов на 12-футовых (3,6 м) деревянных вышках и один резервуар (деревянный) — 15 000 галлонов на 20-футовой вышке и 200-футовый водоразборный трубопровод. Производительность пункта водоснабжения составляла 40 000 галлонов в день, при двух переносных водоочистных установках. Норма потребления воды — от 1,5 до 7–8 галлонов в день.

Английские и французские армии выпускали более или менее подробные карты, освещающие водоснабжение отдельных районов. Все союзные армии для той же цели составляли специальные гидрогеологические отчеты.

Немцы выпускали карты обеспеченности водой отдельных районов в масштабе 1:25 000, 1:50 000, подобные американским картам. Особо тщательно была освещена территория Германии. В дополнение к картам немцы издали ряд технических пособий.

При операциях в Марокко одним из основных видов инженерных работ по обеспечению операций являлось водоснабжение. Производилась разведка источников воды и организация водных пунктов.

Только на одном направлении было построено 44 водных пункта. Для цели водоснабжения построена канатная дорога протяжением 504 м с разностью уровней 247 м.

Войсковое водоснабжение в армии США было организовано следующим образом. Инженерный корпус нес ответственность за снабжение водой в театре военных действий для всех целей всех соединений армий до дивизии включительно. Он также отвечал за качество воды до места ее распределения. Инженерные войска совместно с военно-санитарной службой устанавливали порядок пользования водой. Вместе с тем существовали специальные батальоны водоснабжения, в обязанности которых входила очистка воды фильтрами и транспортировка ее в автоцистернах. Перевозка воды по железной дороге возлагалась на железнодорожные батальоны. Батальон водоснабжения США состоял из 4-х рот, который на вооружении имел 9 автомобильных фильтров производительностью по 23 м³ каждый и 135 автоцистерн общим объемом 256 м³.

ОЧИСТКА И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ В БОЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Вода из открытых водоемов, как правило, загрязнена микробами, что во многих случаях требовало ее стерилизации. Было установлено, что самым быстрым и надежным способом стерилизации воды является обработка ее хлорной известью, при которой 1,5 г хлорной извести, содержащей 30 % активного хлора, достаточно для стерилизации 450 л воды в течение получаса. Для хлорирования мутной воды проводилась коагуляция с помощью квасцов, по 0,2 г на 1 л.

Было испытано большое количество тепловых стерилизаторов воды. Наиболее удачным признан аппарат, известный под названием «Грифит», который уничтожал все обычные микробы, находящиеся в воде в течение минуты при подогреве до 81°.

Для обработки воды, отравленной цианидами, арионами и солями тяжелых металлов использовалась установка, основанная на принципе превращения растворенных ядов в нерастворимые соединения, которые выпадали в осадок, удаляемый фильтрацией.

Для обработки воды в резервуарах применялись обеззараживающие таблетки и специальные порошки. Таблетки Steridrol и хлорные предназначались для обеззараживания воды во флягах, котелках и резервуарах. Правильность выбранной дозы хлора проверялась индикатором (должен синеть). При избытке хлора производилось снижение его концентрации специальными таблетками.

Порошок поставлялся в запаянных стеклянных ампулах, уложенных по 10 шт. в картонные коробочки. в каждую коробочку вкладывались трубочки с индикатором и дехлоратором и картонная пластинка с карборундом для вскрывания ампул. Одна ампула была рассчитана на обеззараживание 50 л.

Для очистки воды в итальянской армии, кроме передвижной очистительной установки на автомо-

бильном ходу, применялись облегченные фильтровальные установки типа М-5 и М-30. На фильтрах типа М-5 и М-30 вода очищается пропусканием через пористые кизельгуровые фильтровальные цилиндры. Фильтр М-5 снабжается пятью цилиндрами, М-30 — тридцатью. Каждый фильтровальный цилиндр состоит из двух полых цилиндров с овальными донышками: наружного крупнопористого фильтрующего цилиндра и внутреннего мелкопористого стерилизующего цилиндра.

Очищаемая вода проходит через стенки цилиндра в радиальном направлении. Проходя через стенки первого фильтра, мутная вода значительно осветляется. Проходя через стенки второго фильтра, она полностью осветляется и освобождается от микробов. Корпус фильтра — металлический литой, в котором закрепляются фильтрующие цилиндры. Фильтр оборудуется насосом типа «Альвеер».

На прозрачных водах производительность фильтра составляет 60 л/ч, на мутных — в среднем 30 л/ч. Время от времени фильтрующие цилиндры должны промываться. Для чистой воды время между промывками может достигать нескольких часов, для мутной и болотной воды — 30–40 мин.

В американской армии использовались фильтры, в которых в качестве фильтрующей среды применялась диатомовая земля, уничтожающая возбудителя дизентерии.

В японских фильтрах для очистки воды применяли цилиндры типа «Шуфу». Основной частью фильтра является 4 цилиндра из пористой глины, диаметром 4 дюйма и длиной 1 фут. Профильтрованную через эти фильтры воду японцы употребляли без хлорирования.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ ВОДОСНАБЖЕНЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

Водные установки находились на вооружении боевых частей армии. В пехотной дивизии число их доходило до 60, в кавалерийской — до 20. В тех случаях, когда установка не могла подойти к источнику воды, разворачивался резервуар из ткани емкостью 9000 л, и только отсюда забиралась вода в водоочистительные установки. Во время боев, когда снарядами повреждалась водопроводная линия, автоцистерны доставляли воду в ближайший тыл и устраняли критическое положение с водоснабжением.

Водоснабженческие подразделения оснащались оборудованием: станками глубокого бурения (до 100–300 м), подъемниками, эрлифтами, зондами, насосами ручными и механическими, трубами разных диаметров, резервуарами для воды различной емкости, водоочистительными установками производительностью 2–3 м³/ч.

Американские армейские водоснабженческие подразделения оснащались:

- цилиндрическими резервуарами из прорезиненной ткани емкостью 3000 галлонов, устанавливаемых на колях и покрываемых квадратной крышкой;

- переносными водоочистителями образца 1940 г., состоящими из 2-х отдельных установок, переносимых двумя бойцами, производительностью 15 галлонов в минуту;

- подвижными очистными установками производительность 90 галлонов в минуту с обработкой воды жидким хлором или гипохлоритом;

- дистилляционными подвижными установками производительностью 2000 галлонов в день;

- автоцистернами емкостью 1500 галлонов;

- мотопомпами;

- специальными буровыми станками для разведочного бурения на воду на глубину до 30–50 м;

- прибором для определения уровня рН, сконструированным по принципу использования эталонных шкал.

Аэропорт Гуадалканал (Япония) обеспечивался водой со специального пункта. В состав пункта водоснабжения входили сварные стальные емкости размером 4×4×2,1 м для помывки рабочих, солдат и пр. Вода подавалась насосом производительностью 220 л/мин.

В английской армии применялись для подъема воды ручные поршневые, центробежные и другие типы насосов по конструкции, мало отличавшиеся от применяемых в Красной Армии. Широко применялись эрлифты. Для подъема воды с глубины до 120 м использовали водоструйные насосы, производительностью 40–75 л/мин.

На скважинах диаметром 12 дюймов применялись погружные насосы производительностью 12 л/с, с напором 60 м, мощность мотора 25 л.с.

Германская армия оснащалась ранцевыми фильтрами, снаряженными асбесто-целлюлозными фильтровальными пластинами, проходя через которые вода, взятая из рек, ручьев, прудов, колодцев и других источников, загрязненных и содержащих микробы, осветлялась и обеззараживалась. Ранцевый фильтр представлял собой рамный фильтр-пресс, установленный на коробке с откидной крышкой, внутрь которой был уложен запас (48 шт.) асбесто-целлюлозных фильтровальных пластин, щетка для очистки фильтра и инструкция. Продолжительность работы одной зарядки фильтровальных пластин (8 шт.) зависела от загрязненности воды: при мутных водах они работали 2–3 ч; при прозрачной воде, пропускаемой только для обеззараживания, — 10–12 ч. Поэтому воду рекомендовалось предварительно осветлять отстаиванием с коагуляцией.

Германская, возимая на грузовой автомашине водоочистная установка, обслуживалась 3–4 человеками. Установка могла работать по трем схемам. Первая схема рассчитана на очистку мутных и цветных вод. Освобождение воды от основной массы взвешенных частиц и обесцвечивание происходит в баках-отстойниках, в которых вода коагулируется хлорным железом и известью и отстаивается. Полное осветление и освобождение от микробов происходит в результате пропуска отстоявшейся в баках-отстойниках воды через фильтрующие (квадратные формы) и стерилизующие (круглой формы) асбе-

Табл. 2. Характеристики насосов для забора воды из глубоких скважин

Характеристики насосов	Сименс-Шуккерт	KUNZ	Водоструйный	Штанговый	Центробежный	Погружной
Диаметр скважины	6–12 дюймов				8 дюймов	
Производительность	15–3000 л/мин	60–400 л/мин	2 л/с	120–20 л/с	15 л/с	40–600 л/мин
Высота подъема	15–160 м	7–40 м	30 м	30–60 м	100 м	до 100 м
Мощность двигателя	0,5–55 л.с.		3 л.с.			0,5–7,0 л.с.
Диаметр обсадных труб			120 мм			

сто-целлюлозные фильтровальные пластины, которые установлены в фильтровальный пресс.

Вторая схема рассчитана на очистку достаточно прозрачной и бесцветной воды. Вода для полного осветления и обеззараживания пропускается только через фильтровальный пресс с фильтрующими и стерилизующими фильтровальными пластинами, а коагулированию и отстаиванию не подвергается.

По третьей схеме воду пропускают только через стерилизующие фильтровальные пластины для обеззараживания. Работа по данной схеме производится в случаях, когда нет возможности развернуть баки-отстойники, и отсутствуют в запасе фильтрующие пластины. Производительность установки 1000–1200 л/ч, в зависимости от степени загрязнения очищаемой воды.

В комплект установки входят:

- фильтр-пресс;
- два механизированных и два ручных насоса (ручные служили для заливки механизированных насосов и дублирования в случае выхода из строя);
- четыре бака-отстойника;
- складная аппаратель-площадка (для погрузки-разгрузки);
- всасывающие и нагнетательные шланги;
- фильтровальные пластины;
- железные коробки для шлангов и фильтровальных пластин;
- бидон для горючего;
- ведро;
- сумка с инструментами;
- весло-мешалка;
- хлорное железо в бутылках;
- известь в банках.

В германской армии применялись фильтры для дегазации воды. Фильтр освобождал воду от иприта, алколоидов, солей тяжелых металлов и других веществ, задерживаемых углем, которым был оснащен фильтр. От мышьяковистых отравляющих веществ, синильной кислоты и ее соединений фильтр не освобождал. Профильтрованная вода допускалась к употреблению только при отсутствии в ней отравляющих веществ (ОВ), что проверялось индикацией. Кроме того, дегазированную воду перед употреблением необходимо было хлорировать или кипятить для уничтожения микробов.

Фильтр состоял из двух элементов: собственно фильтра и резервуара для промывной воды, которые выполнялись из листовой эмалированной стали.

Фильтр работал по следующей схеме: зараженная вода наливалась в верхнюю часть фильтра ведрами или насосами. Пройдя слой угля, вода выходила наружу. Когда уголь терял способность освобождать воду от ОВ, его выгружали и закапывали в землю, а фильтр загружался новой порцией угля. На одну зарядку требовалось около 12 кг угля.

Для забора воды из глубоких скважин в период Великой Отечественной войны применялись насосы с характеристиками, представленными в табл. 2.

ЭПИЗОДЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ВОЙСК В ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЕ

Вторая мировая война дала ряд примеров падения крепостей из-за недостатка воды. Так, например, из-за отсутствия воды пал форпост Англии в Китае — крепость Гонконг.

«Гибралтар Востока» — крупнейшая крепость Сингапура, на которую были истрачены миллионы фунтов стерлингов, вынуждена была сдаться вследствие того, что японцы захватили два водохранилища, разрушили Джохорскую дамбу, по которой проходил водопровод, от них главным образом зависело снабжение Сингапура водой.

Недостаток воды способствовал сдаче немецкого гарнизона крепости Познань.

В Северной Африке итальянцы широко применяли разрушение колодцев, резервуаров, насосных станций и других водопроводных сооружений в целях лишения противника воды.

Организация водоснабжения при прорыве блокады г. Ленинграда по свидетельству майора А.И. Иванова, руководившего работами по обеспечению войск водой, была следующей [4]. Район сосредоточения войск представлял собой равнину, понижающуюся к котловине Ладожского озера и р. Неве, поросшую лесом с заболоченными участками глубиной до 4-х м. В геологическом отношении район был сложен озерно-ледниковыми песками мелкими и крупнозернистыми с галькой мощностью от 1 до 10 м. Подстилали их суглинки с валунами и ленточные глины. Ленточные глины залегают на глубине 10 м и более. Глины пластичные, вязкие, не содержат валунов, но имеют тонкие и многочисленные прослойки песков. Переходные зоны представляют собой озерно-ледниковые пески и суглинки с валу-

нами. Породы грунта в верхней зоне на заболоченных участках покрыты торфом.

Водоносность пород оказалась неоднородной. Наиболее водоносными оказались озерно-ледниковые пески. В песках водоносные горизонты залегают на глубине от 1,5 до 10 м в зависимости от близости водоупорных слоев грунта. Колодцы в этих местах не пересыхали, не промерзали и имели относительно высокую производительность от 2 до 10 м³/сут. По химическому составу вода имела значительную общую минерализацию, но являлась вполне пригодной для питья и технических целей.

Производительность колодцев, вскрывших воду в валунной толще, составляла от 0,5–3 м³/сут. Режим колодцев — непостоянный.

На основании поставленной начальником инженерных войск фронта задачи по обеспечению войск водой было подсчитано, что в данных гидрогеологических условиях потребуется оборудовать 100 колодцев. На оборудование 100 колодцев отводилось 18 дней. Поставленная задача была выполнена силами двух усиленных взводов гидротехнической роты в количестве 85 человек. Трудоемкость составила в среднем на 1 колодец глубиной от 2 до 5 м 15 человеко-дней.

Шахтные колодцы устраивались на большой площади примерно до 200 км² и располагались вдоль коммуникаций, рокадных дорог, мест проживания прибывающих войсковых частей. В зимних условиях источники воды оборудовались в упрощенном виде. Обделка колодцев выполнялась из свежесрубленного круглого леса, глиняные замки не делались, утепление осуществлялось лишь обсыпкой вала земли вокруг верхней части сруба. Вследствие забора для водоснабжения большого количества болотных вод производилась ее очистка нефелиновым коагулянтom. В местах забора болотной воды организовывались упрощенные водные пункты, оборудованные двумя резервуарами емкостью 1000 л каждый, установленных в летней палатке. Тепло в палатке поддерживалось временными (металлическая печь). Два бойца, снабженные заранее расфасованным нефелиновым коагулянтom, обслуживали водный пункт, обеспечивая выдачу до 20 м³/сут осветленной и обеззараженной воды.

Одновременно с выполнением главной задачи проводилась работа по подготовке личного состава гидротехнических рот по обеспечению войск водой при наступлении. Вырабатывались и продумывались организационные формы, в которые должны были вылиться действия гидротехнической роты во время наступательного боя вплоть до выполнения задач стрелковых подразделений.

При ознакомлении с общим планом наступления, намеченного командованием, гидротехническое подразделение было разбито на 4 отряда и резерв командира роты. К каждому отряду прикреплен лаборант. Отряд был обеспечен инструментом, одним миноискателем, необходимым количеством хлорной извести и нефелинового коагулянта. Кроме того, в качестве резерва было подготовлено 4 фильтра-повозки, резервуары, запасы коагулянта

и хлорной извести. В состав каждого отряда вошли бойцы — начальники будущих водных пунктов, обученные обращению с реагентами и санитарным правилам. Командиры отрядов заранее ознакомлены с маршрутами движения войск, изучали рельеф, гидрогеологические и другие условия будущего района действия.

В процессе боя выяснилось, что 2 маршрута наступления развивались медленнее, чем остальные. Поэтому намеченный план пришлось в ходе боя изменить, т.е. организовать из 4-х отрядов 2. Кроме того, сразу же с началом активных боевых действий выявилась необходимость иметь свою разведку, чтобы своевременно принимать необходимые решения. На другой день операции было организовано отделение разведки, которое направляло по 2–3 человека на каждый маршрут с задачей установить положение частей, из каких источников они питаются водой, наличие старых источников воды, необходимость организации новых пунктов водоснабжения. За разведкой в намеченные пункты отправлялись бойцы для выполнения работ.

Всего на левом берегу Невы было оборудовано 120 источников воды, которые в большинстве случаев представляли собой колодцы, сделанные из подручных материалов. Располагались они в населенных пунктах (Шлиссельбург и др.) и рощах, в которых можно было замаскировать расположение наших войск. Кроме новых колодцев были использованы сделанные ранее немцами или населением 9 колодцев. Эти колодцы обследовались лаборантом, чистились, хлорировались и неоднократно откачивались. Водных пунктов с очисткой воды было организовано 3 единицы, один из которых на командном пункте армии.

В связи с выходом воинских частей на новые рубежи и организацией на них оборонительных рубежей перед гидротехнической ротой была поставлена задача, сделанные ранее колодцы по упрощенной схеме переоборудовать для эксплуатации на более длительный срок. Эти колодцы углубили, их срубы и крышки улучшили. После этого их сдали под охрану и эксплуатацию занимающей оборону войсковой части.

При развешивании операции против японских захватчиков вопросам водоснабжения уделялось исключительное внимание, в связи с тем, что продвижение войск осуществлялось через безводные степи Монголии и Маньчжурии, в район сосредоточения войск было направлено 10 гидротехнических рот.

Гидротехнические роты провели большие работы по подготовке района сосредоточения войск и путей подхода и подвоза грузов и обеспечения их водой. На территории внешней Монголии (МНР) гидрогеологические условия позволяли создать водные источники в виде неглубоких шахтных колодцев, глубиной 3–5 м. Пункт водоснабжения обычно представлял группу из 3–4 колодцев. Вода по своим химическим и органолептическим качествам могла быть использована и использовалась, как правило, без обработки. Особенно тяжело дело обстояло с материалом для крепления стенок колодца. Для этой

Табл. 3. Ориентировочная производительность скважин, м³/ч, в зависимости от ее диаметра и типа водоподъемника

Вид насосного оборудования	Внутренний диаметр обсадных труб, мм														
	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	500
Штанговый насос простого действия				10		16									
Штанговый насос двойного действия			10	15	20	22	30	40		50					
Насос Фарью (осевой)										40	50	100	150	200	300–360
Осевые насосы				20	30	50	100	250	300	360					
Эрлифт с параллельным расположением труб		10	25	35	45	50	75	100	125	150	200	250			
Эрлифт с концентрическим расположением труб	20	30		40	50	100	125	250	300	360	400				
Насос Рэда (погружной мотор-насос)				18		21,5	42		57		108		162		

цели в большинстве случаев применялся плетень, хворост для которого в некоторых случаях приходилось подвозить на расстоянии 300–400 км.

Продвижение войск осуществлялось быстрыми темпами (по несколько десятков, а иногда и свыше 100 км в сутки). Это вызывало необходимость движения гидротехнических рот с той же скоростью. По мере продвижения частей вглубь внутренней Монголии начали встречаться районы с глубоким залеганием грунтовых вод. Это обстоятельство требовало организации отрядов глубокого бурения, которые и обслуживали части в местах их расквартирования.

В Сталинградской операции левофланговые армии, продвигавшиеся через Калмыцкие степи, находились в очень тяжелых условиях по обеспечению водой. Одна из армий, имея потребность в воде 2000 м³ в сутки, могла получить из существующих колодцев только 600 м³. За время операции только одна гидротехническая рота, приданная армии, отрыла 45 новых и восстановила 6 старых колодцев. Кроме того, в полосе фронтового тыла другой гидротехнической ротой было построено 50 новых и восстановлено 9 старых колодцев.

На Северном Кавказе в наступательных операциях по очищению Кубани от немецких захватчиков построено 591 шахтных колодцев, пробурено 29

скважин и оборудовано 8 водных пунктов на железной дороге.

Во время подготовки Нарвского плацдарма к весне туда был направлен гидротехнический взвод, который при содействии частей за 10 дней отрыл 30 колодцев и отремонтировал 50 старых колодцев.

Воинские части проводили большие работы по восстановлению водоснабжения в городах, освобожденных от немецких захватчиков.

За время войны были разработаны новые средства водоснабжения. Например, разработана конструкция возимой фильтровальной станции ВФС-1000, обеспечивающей получение 1000–1200 л очищенной воды в час. Эта установка достаточно проста по устройству и не требовала большого количества дефицитных материалов.

Проведены работы по упрощению конструкции универсального носимого фильтра, с одновременным улучшением его эксплуатационных качеств и повышением производительности в 1,5–2,0 раза.

Разработано и внедрено в войска несколько типов ручных насосов, в частности усовершенствован и освоен ручной штанговый насос РЩН для подъема воды из буровых и шахтных колодцев глубиной до 40 м. В табл. 3 приведена ориентировочная производительность скважин в зависимости от ее диаметра и типа водоподъемника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мерецков К.А. На службе народу: Страницы воспоминаний. М. : Политиздат, 1969. 469 с.
2. Голенкин Ф.И. Подготовка государств и обороны в инженерно-техническом отношении. Курс среднего класса Военно-инженерной академии. Петроград, 1920. 116 с.
3. Инженерные войска Советской Армии 1918–1945 гг. М., 1985. 464 с.
4. Инженерные войска города-фронта. Л. : Лениздат, 1979. 320 с.
5. Военно-инженерное искусство Советской Армии: сб. ст. М. : Воениздат, 1958. 288 с.

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:

И.О. Фамилия¹, И.О. Фамилия²

¹ Место работы первого автора; город, страна

² Место работы второго автора; город, страна

АННОТАЦИЯ

Основной принцип создания аннотации — информативность. Объем аннотации — от 200 до 250 слов.

Структура и содержание аннотации должны соответствовать структуре и содержанию основного текста статьи.

Аннотация к статье должна представлять краткую характеристику научной статьи. Задача аннотации — дать возможность читателю установить ее основное содержание, определить ее релевантность и решить, следует ли обращаться к полному тексту статьи.

Четкое структурирование аннотации позволяет не упустить основные элементы статьи. Структура аннотации аналогична структуре научной статьи и содержит следующие основные разделы:

- **Введение** — содержит описание предмета, целей и задач исследования, актуальность.
- **Материалы и методы** (или методология проведения работы) — описание использованных в исследовании информационных материалов, научных методов или методики проведения исследования
- **Результаты** — приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Предпочтение отдается новым результатам и выводам, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.
- **Выводы** — четкое изложение выводов, которые могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, описанными в статье.
- **Ключевые слова** — перечисляются через запятую, количество — от 7 до 10 слов.

Благодарности. Краткое выражение благодарности персонам и/или организациям, которые оказали помощь в выполнении исследования или высказывали критические замечания в адрес вашей статьи. Также в разделе указывается источники финансирования исследования от организаций и фондов организациям и фондам, т.е. за счет каких грантов, контрактов, стипендий удалось провести исследование. Раздел приводится при необходимости.

Аннотация не должна содержать:

- избыточных вводных фраз («Автор статьи рассматривает...», «В данной статье...» и т.д.);
- абстрактного указания на время написания статьи («В настоящее время...», «На данный момент...», «На сегодняшний день...» и т.д.);
- общего описания;
- цитат, таблиц, диаграмм, аббревиатур;
- ссылок на источники литературы;
- информацию, которой нет в статье.

Англоязычная аннотация пишется по тем же правилам. Отметим, что английская аннотация не обязательно должна быть точным переводом русской.

Следует обращать особое внимание на корректность употребления терминов. Избегайте употребления терминов, являющихся прямой калькой русскоязычных. Необходимо соблюдать единство терминологии в пределах аннотации.

Ключевые слова – прообраз статьи в поисковых системах, те точки, по которым читатель может найти вашу статью и определить предметную область текста. Чтобы определить основные ключевые слова для статьи, рекомендуется представить, по каким поисковым запросам читатели могут искать вашу статью. Как правило, ключевые слова также могут включать основную терминологию.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ

Основной текст научной статьи, представляемой в журнал, должен быть оформлен в соответствии со стандартом IMRaD и включать следующие разделы:

- Введение;
- Материалы и методы;
- Результаты исследования;
- Заключение и обсуждение.

РИСУНКИ И ТАБЛИЦЫ

Рисунки и таблицы следует вставлять в текст статьи сразу после того абзаца, в котором рисунок впервые упоминается. Рисунки и таблицы должны быть оригинальными (либо с указанием источника), хорошего качества (не менее 300 dpi). Оригиналы рисунков предоставляются в файлах формата .jpg, .tiff (название файла должны соответствовать порядковому номеру рисунка в тексте) Размер шрифта должен соответствовать размеру шрифта основного текста статьи. Линии обязательно не тоньше 0,25 пунктов.

Заголовки таблиц и рисунков выравниваются по левому краю. Заголовок таблицы располагается над ней, начинаясь с сокращения «Табл.» и порядкового номера таблицы, подпись к рисунку располагается под ним, начинаясь с сокращения «Рис.» и порядкового номера. Рисунки и таблицы позиционируются по центру страницы.

Подрисуночные подписи и названия таблиц размещаются на русском и английском языках, каждый на новой строке с выравниванием по левому краю.

Образец:

Рис. 1. Пример рисунка в статье

Figure 1. Example of article image

Табл. 1. Пример таблицы в статье

Table 1. Example of table for article

ФОРМУЛЫ

Формулы должны быть набраны в редакторе формул MathType версии 6 или выше.

Цифры, греческие, готические и кириллические буквы набираются прямым шрифтом; латинские буквы для обозначения различных физических величин (A , F , b и т.п.) — курсивом; наименования тригонометрических функций, сокращенные наименования математических понятий на латинице (max, div, log и т.п.) — прямым; векторы (\mathbf{a} , \mathbf{b} и т.п.) — жирным курсивом; символы химических элементов на латинице (Cl, Mg) — прямым.

Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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.

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).

ми), 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 ЛИТЕРАТУРЫ

Список литературы 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

УДК 11111

ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ

должен кратко (не более 10 слов) и точно отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. В него необходимо как вложить информативность, так и отразить привлекательность, уникальность научного творчества автора.

И.О. Фамилия¹, И.О. Фамилия²...

¹ Место работы первого автора; город, страна

² Место работы первого автора; город, страна

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.

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

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.

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.

ЛИТЕРАТУРА (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:

ЛИТЕРАТУРА

1. Самарин О.Д. О расчете охлаждения наружных стен в аварийных режимах теплоснабжения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 46–50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (дата обращения: 04.12.18).

2. Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Математическая модель теплопереноса в пористом теле // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8. № 3. С. 35–53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3

REFERENCES

1. Samarin O.D. On calculation of external walls coling in emergency condition of heat supply. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Construction*. 2007; 2:46-50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (Accessed 19th June 2015). (rus.).

2. Musorina T.A., Petrichenko M.R. Mathematical model of heat and mass transfer in porous body. *Construction: science and education*. 2018; 8(3):35-53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3 (rus.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Оформляются на русском и английском языках.

Об авторах: **Имя, отчество, фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации; адрес электронной почты;

Имя, отчество, фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение, **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор, почтовый адрес организации, адрес электронной почты.

Сведения об авторах на английском языке приводятся в полном виде, без сокращений слов. Приводятся официально установленные англоязычные названия организаций и их подразделений. Опускаются элементы, характеризующие правовую форму учреждения (организации) в названиях вузов.

Автор должен придерживаться единообразного написания фамилии, имени, отчества во всех статьях. Эта информация для корректной индексации должна быть указана в других статьях, профилях автора в Международных базах данных Scopus / WoS и т.д.

Вionotes: **Имя, отчество, фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты;

Имя, отчество, фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты.

ВНИМАНИЕ! Все названия, подписи и структурные элементы рисунков, графиков, схем, таблиц оформляются на русском и английском языках.

УФК по г.Москве (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7 7 1 6 1 0 3 3 9 1

(ИНН получателя платежа)

4 0 5 0 1 8 1 0 8 4 5 2 5 2 0 0 0 0 7 9

(номер счета получателя платежа)

в ГУ Банка России по ЦФО

БИК 0 4 4 5 2 5 0 0 0

(наименование банка получателя платежа)

КБК

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0

ОКТМО

4 5 3 6 5 0 0 0

Вестник МГСУ - 573.34 руб. x 12 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь,
июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2020 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика _____

Адрес

плательщика _____

Сумма

платы

за

Сумма

платежа 6 880 руб. 00 коп. услуги _____ руб. _____ коп.

Итого _____ руб. _____ коп.

« _____ » _____ 20 ____ г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика _____

Извещение

Кассир

УФК по г.Москве (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7 7 1 6 1 0 3 3 9 1

(ИНН получателя платежа)

4 0 5 0 1 8 1 0 8 4 5 2 5 2 0 0 0 0 7 9

(номер счета получателя платежа)

в ГУ Банка России по ЦФО

БИК 0 4 4 5 2 5 0 0 0

(наименование банка получателя платежа)

КБК

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0

ОКТМО

4 5 3 6 5 0 0 0

Вестник МГСУ - 573.34 руб. x 12 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь,
июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2020 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика _____

Адрес

плательщика _____

Сумма

платы

за

Сумма

платежа 6 880 руб. 00 коп. услуги _____ руб. _____ коп.

Итого _____ руб. _____ коп.

« _____ » _____ 20 ____ г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика _____

Квитанция

Кассир

Бланк для оплаты полугодовой подписки через редакцию (оплата в банке).

ВНИМАНИЕ!

Если вы оплатили подписку по форме ПД-4 в банке, то для своевременной отправки вам номеров журнала безотлагательно пришлите копию платежного документа и сообщите ваш адрес с почтовым индексом, Ф.И.О. на e-mail: podpiska@mgsu.ru.

Подписчики — работники НИУ МГСУ могут заполнить бланк на свое имя и обратиться в отдел распространения и развития Издательства МИСИ — МГСУ для оформления подписки.

Телефон: (495)287-49-14 (вн. 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/>

