

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал
по строительству и архитектуре

Том 15 Выпуск 9/2020
Vol. 15 Issue 9/2020

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction
and Architecture

DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

Том 15. Выпуск 9
2020

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

Сквозной номер 144

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction and Architecture

Volume 15. Issue 9
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	28.09.2020.
Подписан в свет	30.09.2020.

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 15,25. Тираж 100 экз. Заказ № 156

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

Ответственный секретарь научных журналов

Маргарита Владимировна Митькина

Корректор

Любовь Владимировна Светличная

Выпускающий редактор

Анна Александровна Дядичева

Дизайн и верстка

Александр Дмитриевич Федотов

Редакторы

Татьяна Владимировна Бердникова

Перевод на английский язык

Ольга Валерьевна Юденкова

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

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 Федеральное государственное бюджетное учреждение «ЦНИИП Минстроя России» Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства (НИИ-ТИАГ), 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 «ВодоканалНИИпроект», 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. теплогасоснабжения 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:	28.09.2020

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, Wrocław University of Technology, Republic of Poland

Editorial team of issues

Executive secretary

in charge of research journals

Margarita V. Mitkina

Executive editor

Anna A. Dyadicheva

Editors

Tat'yana V. Berdnikova

Corrector

Lyubov' V. Svetlichnaya

Layout

Aleksandr D. Fedotov

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

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

А.В. Патрикеев

Актуальные вопросы периодического вибрационного контроля зданий и сооружений1221

М.А. Перекопская, Ю.В. Алексеев

**Организация территорий с развитым лесопромышленным комплексом
(на примере Швеции и России)1228**

А.С. Месризаде

**Роль городской дисперсии в рациональном использовании энергии
в Исламской Республике Иран1239**

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

К.В. Кургузов, И.К. Фоменко, Д.Д. Шубина

Вероятностно-статистическое моделирование нагрузок и воздействий.1249

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Ле Минь Туан, И.С. Шукуров, М.О. Гельманова, М.Ю. Слесарев

**Расчет интенсивности теплового острова в мегаполисах с помощью моделирования
в программе ENVI-met1262**

Е.В. Масленникова, В.В. Ермаков

**Интенсификация очистки высококонцентрированных буровых сточных вод
с использованием биохимических стимуляторов.1274**

ГИДРАВЛИКА. ГЕОТЕХНИКА. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

З.Г. Тер-Мартirosян, В.В. Бахмисов

К вопросу учета ползучести бетона в грунтовой среде.1285

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

И.С. Горобинский, Ю.А. Демидова, Ю.А. Прунова, И.С. Птухина

**Анализ интеграционно-аналитического метода инициации
инвестиционно-строительного проекта1297**

С.А. Ершова, С.А. Шишелова, Т.Н. Орловская

**Экономические и правовые аспекты оценки эффективности градостроительных
преобразований территории1308**

И.В. Каракозова

Исследование универсальной последовательности строительных работ1321

Требования к оформлению научной статьи1334

CONTENTS

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION AND REFURBISHMENT

Alexander V. Patrikeev

Relevant issues of periodic vibration monitoring of buildings and structures1221

Marina A. Perekopskaya, Yuri V. Alekseev

**Management of territories that accommodate advanced timber industry enterprises
(as illustrated by Sweden and Russia).1228**

Ahad S. Mesrizade

The role of urban dispersion in rational energy use in the Islamic Republic of Iran1239

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

Konstantin V. Kurguzov, Igor K. Fomenko, Daria D. Shubina

Probabilistic and statistical modeling of loads and forces1249

SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN ECONOMY

Le Minh Tuan, Ilkhomzhon S. Shukurov, Margarita O. Gelmanova, Mikhail Yu. Slesarev

Using ENVI-met simulation to analyze heat island intensity in megalopolises.1262

Elena V. Maslennikova, Vasilii V. Ermakov

Using biochemical agents to intensify the treatment of highly concentrated drilling wastewater1274

HYDRAULICS. GEOTECHNIQUE. HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION

Zaven G. Ter-Martirosyan, Viktor V. Bakhmisov

To the question of concrete creep in the soil environment1285

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION. ECONOMICS AND MANAGEMENT IN CONSTRUCTION

Ilya S. Gorobinskiy, Yulianna A. Demidova, Yuliya A. Prunova, Irina S. Ptukhina

**The analysis of an integrative analytical method used for the initiation
of an investment construction project.1297**

Svetlana A. Ershova, Svetlana A. Shishelova, Tamara N. Orlovskaya

Efficiency assessment of urban planning transformations: economic and legal aspects1308

Irina V. Karakozova

A study of the universal sequence in construction works1321

Requirements for research paper design1334

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).

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

объявляет о возможности подготовки диссертации на соискание ученой степени доктора наук на «Комплексное моделирование процессов координации и управления крупномасштабными городскими проектами рас-средоточенного строительства».

Конкурсный отбор состоится на заседании Научно-технического совета НИУ МГСУ
20.10.2020 г. в 14.00.

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

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

УДК 699.86

DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1221-1227

Актуальные вопросы периодического вибрационного контроля зданий и сооружений

А.В. Патрикеев

Российский университет транспорта (ПУТ (МИИТ)); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Предложен новый универсальный подход к оптимизации контроля механической безопасности зданий и сооружений в процессе их эксплуатации, основанный на периодическом контроле механических колебаний.

Материалы и методы. Методика периодического контроля в ходе общего мониторинга основана на анализе изменения первой собственной частоты здания или сооружения и логарифмического декремента ее затухания по трем взаимно перпендикулярным осям. Вычисление резонансных частот и логарифмических декрементов затухания производится по форме и положению резонансных пиков на амплитудном спектре. Анализ подвергается электронный архив параметров, изменение которых во времени пропорционально колебаниям объекта контроля. Зависимость первой резонансной частоты сооружения от времени (в годах) рассматривается как обобщенная характеристика механической безопасности.

Результаты. Показано, что результаты спектрального анализа колебательного процесса не зависят от способа измерений при условии обеспечения однотипности внешних воздействий. Зависимость частоты первого тона колебаний сооружения от времени (в годах) в течение всего срока эксплуатации в общем случае имеет два нелинейных участка. По результатам анализа измерений, выполненных на реальных строительных объектах при воздействии ветровой нагрузки, установлено, что современные средства контроля позволяют с достаточной точностью зафиксировать изменения первой резонансной частоты и декремента затухания. Это, по мнению автора, имеет важное практическое значение.

Выводы. Выявление тренда на изменение параметров частоты и декремента затухания первого тона собственных колебаний позволяет своевременно спланировать мероприятия по коррекции механической безопасности инженерного сооружения, а в отдельных случаях — и предотвратить возможную аварию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: здания и сооружения, эксплуатация, механическая безопасность, колебания, вибрационный контроль, жизненный цикл, сигма-кривая

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Патрикеев А.В. Актуальные вопросы периодического вибрационного контроля зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 9. С. 1221–1227. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1221-1227

Relevant issues of periodic vibration monitoring of buildings and structures

Alexander V. Patrikeev

Russian University of Transport (MIIT); Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The author proposes a new universal optimization approach to mechanical safety monitoring of buildings and structures in the process of their operation. The new approach involves periodic monitoring of mechanic vibrations.

Materials and methods. The methodology of periodic monitoring performable within the framework of general monitoring is based on the analysis of changes in the first natural frequency of a building or a structure and the logarithmic decrement of its damping along three mutually perpendicular axes. The shape and position of resonance peaks of the amplitude spectrum are employed to analyze resonant frequencies and logarithmic decrements of damping. The analysis of those electronically archived parameters is performed, whose values change over time proportionately with vibrations of a monitored facility. The time dependence of the first resonant frequency of a structure is considered as a generalized characteristic of its mechanical safety.

Results. The author has shown that findings of the spectral analysis performed in respect of the vibration process are irrespective of a measurement method, provided that the uniformity of external influences is ensured. The frequency dependence of the structure's first mode of vibrations on time (per year) has two non-linear sections within the entire term of operation. Following the analysis of measurements taken at construction facilities exposed to wind loads, it's been found that advanced monitoring instruments can identify changes in the value of the first resonant frequency and the damping decrement with a reasonable degree of accuracy. The author believes that this finding has great practical importance.

Conclusions. Identification of a trend towards a change in frequency and damping decrement values for the first mode of natural vibrations can help to schedule actions for the improvement of the mechanical safety of an engineering structure, and in some cases it can prevent an upcoming accident.

KEYWORDS: buildings and structures, operation, mechanical safety, vibrations, vibration monitoring, life cycle, sigma curve

FOR CITATION: Patrikeev A.V. Relevant issues of periodic vibration monitoring of buildings and structures. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(9):1221-1227. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1221-1227 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Контроль стабильности периода T_1 (частоты f_1) и логарифмического декремента затухания D_1 первого тона резонанса механических колебаний по направлению взаимно перпендикулярных осей здания или сооружения в пределах его нормативного срока службы является простым и удобным способом экспресс-оценки категории технического состояния. В соответствии с требованиями действующего ГОСТ 31937–2011 следует периодически контролировать значения динамических параметров инженерного сооружения: первой собственной частоты и логарифмического декремента затухания. При этом выход контролируемых динамических параметров за пределы диапазона $\pm 10\%$ от первоначально зафиксированных значений свидетельствует о существенном снижении общей жесткости несущих конструкций и может служить основанием для назначения данному инженерному объекту комплексного обследования с целью выявления элементов и узлов, требующих ремонта.

Исследования взаимосвязи динамических параметров сооружений (или их элементов) и характеристик долговечности или механической надежности в целом хорошо известны. Особенно это касается технически сложных [1] или уникальных строительных объектов [2], для которых вполне оправданы специальные исследования на конечно-элементных расчетных моделях [3] или на динамически подобных моделях [4], выполняемые в ходе проектирования. Результатом таких исследований может являться постоянная система мониторинга, устанавливаемая на объекте для обеспечения его безопасной эксплуатации [5, 6]. Значительное внимание традиционно уделяется динамическому мониторингу высотных¹ [7] и протяженных инженерных сооружений [8, 9], для которых такие воздействия являются определяющими при расчетах несущих конструкций.

С другой стороны, у каждой организации, эксплуатирующей здания и сооружения, имеется некоторое количество не уникальных, но очень разнообразных объектов, различающихся по конструктивной форме, по материалу несущих конструкций, по назначению, по этажности, по сроку эксплуатации². Столь же разнообразны и временные периодические нагрузки, вызывающие колебания несущих конструкций этих объектов. Это могут быть временные нагрузки от транспортных средств

¹ МДС 13-23.2009. Рекомендации по проведению динамического мониторинга высотных зданий и сооружений с использованием навигационного поля глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). М., 2010. 29 с.

² О мониторинге особых объектов нежилого фонда города Москвы : Закон города Москвы от 11.07.2007 № 35 (с изм. на 30.04.2014). URL: <http://docs.cntd.ru/document/3674793.pdf>

(подвижного состава), от воздействия ветра, вибрационные воздействия от станочного оборудования, а также сейсмические нагрузки. Для службы эксплуатации зданий и сооружений, входящей в состав эксплуатирующей организации, либо для специализированной организации, привлекаемой к таким работам (например, по договору подряда), полезно было бы иметь соответствующую методику, тем более что основы такого контроля заложены в действующих стандартах. Однако это направление незаслуженно мало интересует исследователей. Здесь можно упомянуть такие работы, как [10–12]. Более основательно исследованы вопросы вибродиагностики, изучающей механические колебания более высоких частот [13–15].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методика периодического контроля (мониторинга) механической безопасности несущих конструкций зданий и сооружений основана на анализе изменения динамических параметров периода колебаний T_1 (частоты f_1) и логарифмического декремента затухания D_1 , определяемых для первого тона собственных колебаний при воздействии на сооружение эксплуатационных временных периодических нагрузок. При этом для проведения такого контроля не требуется приостанавливать эксплуатацию инженерного объекта. Эта методика вследствие своей универсальности может быть комплексно применена для разнообразных строительных объектов.

Вычисление собственных частот f_i и логарифмических декрементов затухания D_i производится по форме и положению резонансных пиков на амплитудном спектре, получаемом при помощи преобразования Фурье из периодограммы — электронного архива параметров, изменение которых во времени пропорционально колебаниям объекта контроля. При этом значение частоты f_i равно абсциссе вершины резонансного пика, а значение D_i определяется пропорционально полосе пропускания колебательной системы на уровне 0,707 (–3 дБ) от максимума [16].

Измерение параметра контроля выполняется в точке установки первичного преобразователя (датчика). Такими параметрами в точке контроля, в зависимости от способа измерений, могут являться: линейное перемещение (оптический регистратор), угловое перемещение (инклинометр), мгновенная скорость (велосиметр), мгновенное ускорение (акселерометр). Независимо от способа измерений частота изменения параметра и мощность одного и того же колебательного процесса будут неизменными. Следовательно, результат спектрального анализа не зависит от способа регистрации механических колебаний [17].

Обобщенная характеристика надежности технической системы во времени имеет вид так назы-

ваемой σ -кривой («сигма») [18]. Зависимость первой собственной частоты сооружения от времени (в годах) $f_1(t)$ в течение всего срока эксплуатации (жизненного цикла) рассмотрим как обобщенную характеристику надежности (механической безопасности) [19, 20].

Важное значение для корректной обработки архива имеет правильная настройка параметров преобразования [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выполним анализ результатов длительного мониторинга изменений первой собственной частоты f_1 высотного сооружения, определяемой на основании результатов натурных измерений параметров, изменение которых во времени пропорционально колебаниям объекта контроля под действием ветровой нагрузки. Параметры частот, амплитуд и форм собственных колебаний зданий и сооружений зависят как от общей жесткости несущей конструкции, так и от соотношения жесткостей ее составных элементов. Периодическое измерение динамических характеристик в процессе эксплуатации позволяет косвенно оценить степень снижения жесткости и ухудшения эксплуатационных свойств несущей

конструкции. Поэтому будем считать зависимость изменений от времени (в годах) $f_1(t)$ обобщенной характеристикой надежности (механической безопасности) данного сооружения. В таком случае эта зависимость должна иметь вид σ -кривой, у которой в начале и в конце имеются два нелинейных участка. Начальный, непродолжительный по времени участок кривой, соответствует периоду «приработки» конструкции: происходит выборка зазоров в соединениях, притирка пар трения, в том числе непроектных, релаксация напряжений в зонах концентрации, некоторое перераспределение нагрузок в элементах несущих конструкций, что связано с неточностью изготовления и монтажа. График зависимости $f_1(t)$ на начальном этапе жизненного цикла сооружения характеризуется постепенным, все более замедляющимся снижением частоты f_1 . По окончании периода «приработки» частота стабилизируется на уровне $f_1 = f_{1\text{const}}$, при этом суммарное снижение контролируемого параметра, в соответствии с действующим стандартом, не должно превышать 10 % от первоначально зафиксированного значения.

Так, например, для монумента Победы на Поклонной горе в г. Москве (рис. 1) в ходе сравнительного анализа результатов обработки цифровых архивов параметров механических колебаний



Рис. 1. Слева — общий вид памятника Победы на Поклонной горе в г. Москве. Справа — скульптурная группа, установленная вблизи вершины сооружения. За скульптурной группой виден механический гаситель колебаний первого тона изгиба

Fig. 1. Left photo. The overall view of the Victory Monument on Poklonnaya Hill, Moscow. Right photo. The statuary installed close to the top of the structure. The mechanical damper of first-mode flexural vibrations is visible behind the statuary

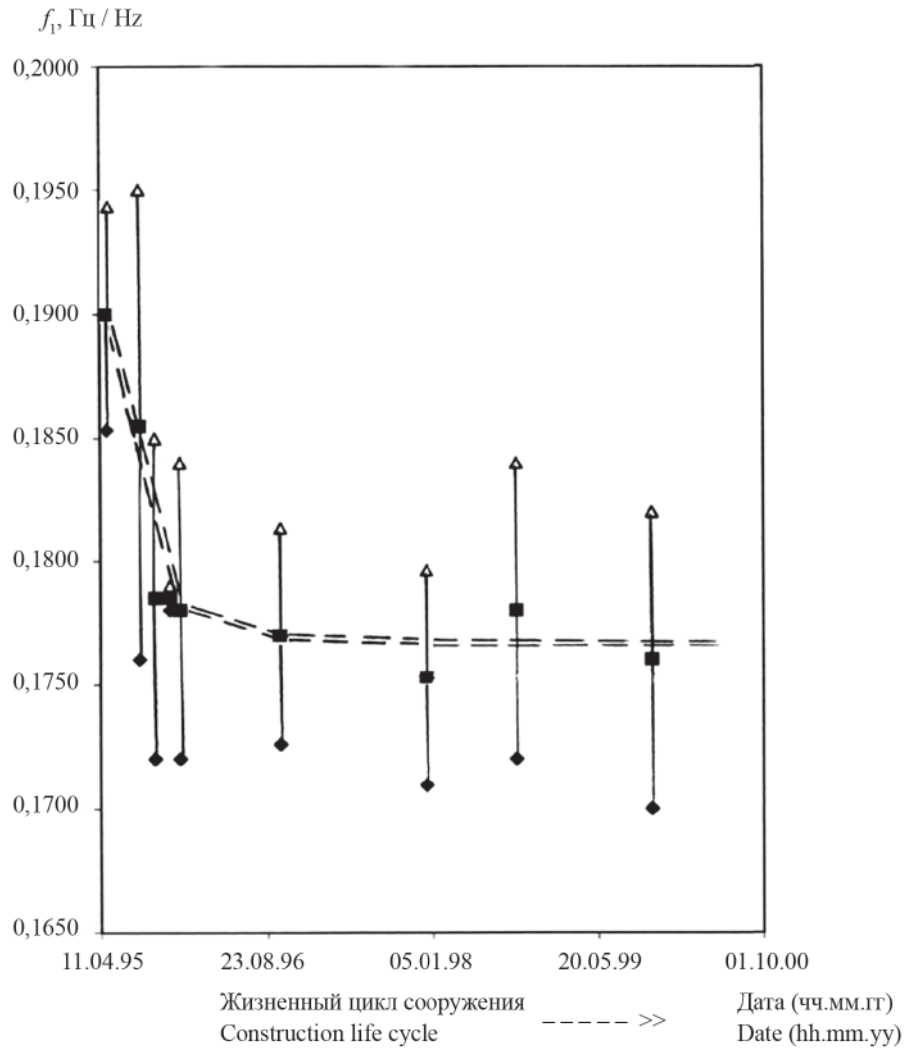


Рис. 2. Результаты многолетнего мониторинга изменений частоты первого тона колебаний f_1 главного монумента
 Fig. 2. Results of the years-long monitoring of changes in first-mode frequency f_1 of the main monument

за первые пять лет жизненного цикла инженерного сооружения было выяснено, что продолжительность начального участка составила порядка 12 месяцев, при этом контролируемая частота снизилась на величину (рис. 2):

$$\Delta f_1 = \frac{f_1 - f_{1const}}{f_1} 100 \% = 6,84 \%$$

К сожалению, на этапе ввода в эксплуатацию сооружения, даже уникальные, редко оснащаются средствами динамического контроля (мониторинга), и случай с таким контролем и анализом изменений для объекта главный монумент сам по себе уникален.

Вычисление значения первой резонансной частоты f_1 и логарифмического декремента затухания D_1 производится по форме и положению резонансного пика в ходе обработки результатов спектрального анализа электронного архива параметров колебаний сооружения.

Для корректного выполнения спектрального анализа обрабатываемый электронный архив параметров должен удовлетворять условиям непрерывности и эргодичности.

Важными характеристиками для выполнения спектрального анализа являются объем выборки X_{MAX} и интервал дискретизации Δ . Соотношение этих двух величин определяет диапазон частот между нижней граничной частотой и частотой Найквиста ($f_{min} - f_{max}$). Этот диапазон должен вмещать в себя частоту первого тона собственных колебаний здания или сооружения f_1 . Информация о диапазоне наиболее вероятных значений первого тона для типовых зданий содержится в действующих нормативных документах. Для уникальных зданий и сооружений ориентировочное (теоретическое) значение $f_{1теор}$ получают в ходе динамического расчета при проектировании.

На практике для получения корректного соотношения X_{MAX} и Δ частота опроса первичного пре-

образователя должна в 5–7 раз превышать верхнюю граничную частоту получаемого спектра. Длительность регистрации архива должна удовлетворять требованиям точности измерений. В зависимости от параметров контрольно-измерительного оборудования и частотного диапазона регистрации длительность регистрации (время экспозиции) при динамическом контроле зданий и сооружений может составлять от 10 до 30 мин.

Периодический анализ неизменности динамических параметров f_1 и D_1 может представлять наибольший интерес для зданий и сооружений, долгое время находящихся в эксплуатации, как альтернатива, позволяющая реже проводить комплексное обследование несущих конструкций объекта. Выявление тренда на изменение (снижение) параметров f_1 и D_1 в ходе регулярных (1 раз в 3 года) измерений, выполняемых в соответствии с ГОСТ 31937–2011 для одних и тех же точек контроля в однотипных условиях действующей динамической нагрузки, может являться сигналом к проведению полного комплексного обследования. А выявление выхода одного из контролируемых параметров за пределы $\pm 10\%$ от первоначально зафиксированного значения может являться сигналом для организации комиссионного освидетельствования здания или сооружения с целью выявления некондиционных элементов и узлов несущей конструкции, а затем документальной фиксации перехода категории технического состояния здания или сооружения из «работоспособ-

ного» в «ограниченно работоспособное» или даже в «недопустимое».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показывает анализ результатов исследований изменений во времени частоты f_1 первого тона колебаний несущей конструкции главного монумента на Поклонной горе в г. Москве, если метод периодического контроля динамических параметров позволяет однозначно зафиксировать изменения одного из этих параметров на начальном этапе эксплуатации здания или сооружения, этим же методом возможно выявить переход здания или сооружения в категорию «ограниченно работоспособного» технического состояния в начале завершающего этапа жизненного цикла сооружения (второй изгиб σ -кривой). Своевременное выявление тренда на изменение параметров f_1 и D_1 и далее — выхода этих параметров за пределы диапазона $\pm 10\%$ от первоначально зафиксированных значений позволит превентивно спланировать мероприятия по коррекции механической безопасности инженерного сооружения, а в отдельных случаях — предотвратить возможную аварию.

Для внедрения в практику эксплуатации зданий и сооружений такая методика должна быть разработана и официально утверждена, например, в виде ведомственной инструкции (методических указаний).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаблинский Г.Э. Мониторинг уникальных высотных зданий и сооружений на динамические воздействия. М. : Изд-во АСВ, 2013. 327 с.
2. Лысов Д.А. Разработка автоматизированной системы контроля механической безопасности зданий и сооружений с большепролетными конструкциями при их эксплуатации : дисс. ... канд. техн. наук. М., 2013. 184 с.
3. Белостоцкий А.М., Акимов П.А., Сидоров В.Н., Кайтуков Т.Б. О развитии адаптивных математических моделей, численных и численно-аналитических методов как основы и составной части систем мониторинга несущих конструкций уникальных зданий и сооружений // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году : сб. науч. тр. РААСН. Т. 2. М. : Изд-во АСВ, 2018. С. 71–78. DOI: 10.22337/9785432302663-71-78
4. Cruciat R., Ghindea C. Experimental determination of dynamic characteristics of structures // Mathematical Modelling in Civil Engineering. 2012. No. 4.

Pp. 51–59. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/4e6b/d0ed6dd4aa2c203321918b34eaea1c56cf1e.pdf>

5. Шахраманьян А.М., Колотовичев Ю.А. Опыт использования автоматизированных систем мониторинга деформационного состояния несущих конструкций на олимпийских объектах Сочи-2014 // Вестник МГСУ. 2015. Т. 10. № 12. С. 92–105. DOI: 10.22227/1997-0935.2015.12.92-105

6. Патрикеев А.В., Салатов Е.К. Основы методики динамического мониторинга деформационных характеристик зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2013. Т. 8. № 1. С. 133–138. DOI: 10.22227/1997-0935.2013.1.133-138

7. Каличева Д.К. Адаптивные динамические конечноэлементные модели в основе мониторинга несущих конструкций высотных зданий : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2012. 20 с.

8. Zhang G., Guo G., Li L., Yu C. Study of the dynamic properties of a suspended bridge using monocular digital photography to monitor the bridge dynamic deformation // Journal of Civil Structural Health Monitoring. 2018. Vol. 8. No. 4. Pp. 555–567. DOI: 10.1007/s13349-018-0293-4

9. Martins N., Caetano E., Diord S., Magalhaes F., Cunha A. Dynamic monitoring of a stadium suspension roof: Wind and temperature influence on modal parameters and structural response // *Engineering Structures*. 2014. Vol. 59. Pp. 80–94. DOI: 10.1016/j.engstruct.2013.10.021

10. Савин С.Н., Данилов И.Л. Современные методики определения динамических параметров зданий и сооружений в соответствии с ГОСТ Р 53778–2010 и ГОСТ Р 54859–2011 // *Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)*. 2013. № 3 (7). С. 37–46. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41486097>

11. Ишков А.Н., Шмелев Г.Д., Филиппова Н.И. Оценка значимости периода основного тона собственных колебаний зданий и сооружений, как критерия, определяющего техническое состояние гражданских зданий // *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура*. 2017. № 3 (2). С. 9–15. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29745051>

12. Зарин С.В. Методика оценивания функциональной пригодности пролетных конструкций стартовых сооружений ракетно-космических комплексов по их динамическим характеристикам // *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2018. № 11. С. 575–582. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenivaniya-funktsionalnoy-prigodnosti-proletnyh-konstruktsiy-startovykh-sooruzheniy-raketno-kosmicheskikh-kompleksov-po-ih>

13. Корепанов В.В., Цветков Р.В. Сезонные изменения собственных частот колебаний здания на свайном фундаменте // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика*. 2014. № 2. С. 153–167. DOI: 10.15593/perm.mech/2014.2.07

14. Бигус Г.А., Даниев Ю.Ф., Быстрова Н.А., Галкин Д.И. Основы диагностики технических устройств и сооружений. М. : МГТУ им. Н.Э. Ба-

умана (НИУ). 2015. 448 с. URL: <https://obuchalka.org/20190817112691/osnovi-diagnostiki-tehnicheskikh-ustroystv-i-sooruzhenii-bigus-g-a-daniev-u-f-bistrova-n-a-galkin-d-i-2018.html>

15. Сенин Л.Н., Сенина Т.Е., Воскресенский М.Н., Парыгин Г.И. Сейсмомодинамический мониторинг инженерных сооружений с использованием аппаратно-программного комплекса «Регистр» (на примере здания станции технических газов Первоуральского новотрубного завода) // *Геотехника*. 2018. Т. 10. № 5–6. С. 86–93. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37072369>

16. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. 2-е изд. СПб. : Питер, 2016. 751 с.

17. Бирбраер А.Н., Роleder А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. СПб. : Изд-во Политех. ун-та, 2009. 593 с.

18. Лурье О.М., Бяков К.Е., Поздняков Т.Д. Уточнение показателей надежности систем транспортных средств в течение жизненного цикла при помощи адаптивной фильтрации // *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2017. № 06. С. 1–12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/utochnenie-pokazateley-nadezhnosti-sistem-transportnyh-sredstv-v-techenie-zhiznennogo-tsikla-pri-pomoschi-adaptivnoy-filtratsii>

19. Патрикеев А.В. Система динамического мониторинга инженерного сооружения как ключевой элемент его технической безопасности // *Вестник МГСУ*. 2014. № 3. С. 133–140. DOI: 10.22227/1997-0935.2014.3.133-140

20. Патрикеев А.В., Салатов Е.К., Спиридонов В.П. Динамический мониторинг зданий и сооружений как один из критериев обеспечения безопасной эксплуатации // *Технологические проблемы прочности : мат. XVIII междунар. сем. Подольск*, 2011. С. 78–81.

Поступила в редакцию 26 февраля 2020 г.

Принята в доработанном виде 3 августа 2020 г.

Одобрена для публикации 25 августа 2020 г.

ОБ АВТОРЕ: Александр Владимирович Патрикеев — кандидат технических наук, доцент кафедры зданий и сооружений на транспорте; Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)); 125315, г. Москва, ул. Часовая, д. 22/2; РИНЦ ID: 1046399; patrikeev-av@mail.ru.

REFERENCES

1. Shablinskiy G.E. *Monitoring of unique high-rise buildings and structures on dynamic impacts*. Moscow, ASV Publ., 2013; 327 (rus.).

2. Lysov D.A. *Development of an automated system for monitoring the mechanical safety of buildings and structures with long-span structures during their*

operation : abstract of the dissertation of the cand. technical sciences. Moscow, 2013; 184. (rus.).

3. Belostotsky A., Akimov P., Sidorov V., Kaytukov T. About development of adaptive mathematical models, numerical and semianalytical methods as theoretical foundation of structural health monitoring sys-

tems. *Fundamental, exploratory and applied research of the RAASN on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2017: collection of articles*. RAASN. Vol. 2. Moscow, ASV Publ., 2018; 71-78. DOI: 10.22337/9785432302663-71-78 (rus.).

4. Cruciat R., Ghindea C. Experimental determination of dynamic characteristics of structures. *Mathematical Modelling in Civil Engineering*. 2012; (4):51-59. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/4e6b/d0ed6dd4aa2c203321918b34eaea1c56cf1e.pdf>

5. Shakhraman'yan A.M., Kolotovich Yu.A. Experience of using automated monitoring systems of the strain state of bearing structures on the Olympic objects Sochi-2014. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2015; 10(12):92-105. DOI: 10.22227/1997-0935.2015.12.92-105 (rus.).

6. Patrikeev A.V., Salatov E.K. Fundamentals of the methods of dynamic monitoring of deformation characteristics of buildings and structures. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2013; 8(1):133-138. DOI: 10.22227/1997-0935.2013.1.133-138 (rus.).

7. Kalichava D.K. *Adaptive dynamic finite element models based on monitoring of building support structures : abstract of the dissertation of the cand. technical sciences*. Moscow, 2012; 20. (rus.).

8. Zhang G., Guo G., Li L., Yu C. Study of the dynamic properties of a suspended bridge using monocular digital photography to monitor the bridge dynamic deformation. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*. 2018; 8(4):555-567. DOI: 10.1007/s13349-018-0293-4

9. Martins N., Caetano E., Diord S., Magalhaes F., Cunha A. Dynamic monitoring of a stadium suspension roof: Wind and temperature influence on modal parameters and structural response. *Engineering Structures*. 2014; 59:80-94. DOI: 10.1016/j.engstruct.2013.10.021

10. Savin S.N., Danilov I.L. Modern methods of measuredynamic characteristics of buildings and constructions in accordance with GOST P 53778-2010 and GOST P 54859-2011. *Natural and technological risks (physics-mathematical and applied aspects)*. 2013; 3:37-46. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41486097> (rus.).

11. Ishkov A.N., Shmelyov G.D., Filippova N.I. Evaluation of the significance of the period of the main tone of own buildings of buildings and structures as a criteria determining the technical condition of civil buildings. *Housing and utilities infrastructure*. 2017; 3:9-15. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29745051> (rus.).

12. Zarin S.V. Assessment methods of functional suitability span structures launch facilities missile and space systems dynamic characteristics. *News of the Tula state university. Technical science*. 2018; 11:575-582. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-ot-senivaniya-funktsionalnoy-prigodnosti-proletnyh-konstruktsiy-startovyh-sooruzheniy-raketno-kosmicheskikh-kompleksov-po-ih> (rus.).

13. Korepanov V.V., Tsvetkov R.V. Seasonal changes in eigenfrequencies of structures supported on pile foundation. *PNRPU Mechanics Bulletin*. 2014; 2:153-167. DOI: 10.15593/perm.mech/2014.2.07 (rus.).

14. Bigus G.A., Daniev Yu.F., Bystrova N.A., Galkin D.I. *Fundamentals of the diagnosis of technical devices and structures*. Moscow, Bauman Moscow State Technical University, 2015; 448. URL: <https://obuchalka.org/20190817112691/osnovi-diagnostiki-tehnicheskikh-ustroystv-i-sooruzhenii-bigus-g-a-daniev-u-f-bistrova-n-a-galkin-d-i-2018.html> (rus.).

15. Senin L.N., Senina T.E., Voskresenskiy M.N., Parigin G.I. Engineering constructions seismodynamic monitoring with hardware-software complex "Register" (on the example of pervouralsky novotrubniy factory technical gas station) *Geotechnics*. 2018; 10(5-6):86-93. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37072369> (rus.).

16. Sergienko A.B. *Digital signal processing*. 2nd ed. Saint Petersburg, Piter Publ., 2016; 751. (rus.).

17. Birbraer A.N., Rolerder A.Yu. *Exstreme actions on structures*. Saint Petersburg, Publishing house of Polytechnic University, 2009; 593. (rus.).

18. Lurie O.M., Byakov K.E., Pozdnyakov T.D. An Adaptive Filtering-based Adjustment Method for Reliability Parameters of vehicle systems during their lifecycle. *Science and education of the Bauman MSTU. Electronic journal*. 2017; 06:1-12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/utochnenie-pokazateley-nadezhnosti-sistem-transportnyh-sredstv-v-techenie-zhiznennogo-tsikla-pri-pomoschi-adaptivnoy-filtratsii> (rus.).

19. Patrikeev A.V. Dynamic monitoring of engineering structure as a key element of its technical security. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2014; 3:133-140. DOI: 10.22227/1997-0935.2014.3.133-140 (rus.).

20. Patrikeev A.V., Salatov E.K., Spiridonov V.P. Dynamic monitoring of buildings and structures as one of the criteria for ensuring safe operation. *Technological Problems of Strength : materials of the XVII International Seminar*. Podolsk, 2011; 78-81. (rus.).

Received February 26, 2020.

Adopted in revised form on August 3, 2020.

Approved for publication on August 25, 2020.

BIONOTES: **Alexander V. Patrikeev** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Buildings and Structures in Transport; **Russian University of Transport (MIIT)**; 22/2 Chasovaya st., Moscow, 125315, Russian Federation; ID RISC: 1046399; patrikeev-av@mail.ru.

Организация территорий с развитым лесопромышленным комплексом (на примере Швеции и России)

М.А. Перекопская, Ю.В. Алексеев

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье рассмотрены подходы к градостроительному планированию территорий с развитым лесопромышленным комплексом в Швеции и России (на примере Архангельской области). Система территориально-пространственного планирования поселений и регионов, организации территорий с развитым лесопромышленным комплексом в Швеции базируется на современных научных достижениях в лесопользовании и лесовосстановлении. Сформированная система лесных плантаций обеспечивает функционирование обрабатывающих и перерабатывающих производств лесопромышленного комплекса на принципах непрерывности и рационального использования лесных ресурсов, поддержания сложившейся системы расселения, сохранения высокого уровня транспортной доступности древесного сырья, необходимого для осуществления технологических процессов. Для отечественной системы планирования территорий лесопромышленного комплекса характерно несоответствие традиционного подхода к размещению предприятий лесопромышленного комплекса новым фактам и данным в лесопользовании и лесовосстановлении. Выполненное сравнение опыта Швеции и России обосновано актуальностью научной проблемы для отечественной практики развития лесопромышленного комплекса.

Материалы и методы. Исследование выполнено на основе общедоступных данных, опубликованных работ зарубежных и отечественных авторов. При проведении исследования использовался системный анализ градостроительного планирования территорий лесопромышленного комплекса Швеции и Архангельской области.

Результаты. Представлена система управления территориями лесопромышленного комплекса Швеции и определена возможность применения ее опыта при совершенствовании территориально-пространственной организации лесопромышленного комплекса Архангельской области.

Выводы. Шведская модель организации территорий лесопромышленного комплекса принципиально отличается от отечественной. Накопленный опыт Швеции подтверждает эффективность применяемой интенсивной модели лесопользования, и его целесообразно использовать при организации научных исследований системы управления планированием территориально-пространственной организации поселений Архангельской области.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Архангельская область, лесное планирование, территориально-пространственное планирование, территории лесопромышленного комплекса, система расселения, землепользование, Швеция

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Перекопская М.А., Алексеев Ю.В. Организация территорий с развитым лесопромышленным комплексом (на примере Швеции и России) // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 9. С. 1228–1238. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1228-1238

Management of territories that accommodate advanced timber industry enterprises (as illustrated by Sweden and Russia)

Marina A. Perekopskaya, Yuri V. Alekseev

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

ABSTRACT

Introduction. This article describes approaches to the urban planning of territories that accommodate advanced timber industry enterprises in Sweden and Russia (as illustrated by the Arkhangelsk region). The system of territorial and spatial planning of settlements and regions and the management of territories that accommodate advanced timber industry enterprises in Sweden are based on the latest developments in forest use and reforestation research. The established forest plantation system ensures the operation of wood processing plants on the principles of continuity and rational use of forest resources, maintenance of the existing settlement system, preservation of the transport accessibility needed to deliver timber for production processes. The site planning system applied to timber industry enterprises in Russia features a mismatch between a traditional approach to the wood processing plant deployment and advanced data and facts related to forest use and reforestation. The comparison of the Swedish and Russian experience is substantiated by the relevance of this research problem for the practical development of the timber industry in Russia.

Materials and methods. This study was conducted on the basis of the public data and the works published by Russian and foreign authors. The system analysis of urban planning solutions developed for the areas occupied by wood processing enterprises in Sweden and the Arkhangelsk region was employed by the co-authors.

Results. The territory management system employed by wood processors in Sweden is presented and its applicability to timber industry enterprises of the Arkhangelsk region, aimed at the improvement of the structure of the local territory and space is assessed.

Conclusions. The Swedish model applied to the management of sites occupied by wood processing enterprises is fundamentally different from the one used in Russia. The Swedish experience has proven the efficiency of an intensive model of forest use, and it can be applied to the research of the territorial and spatial structure of the land-use management system employed by settlements in the Arkhangelsk region.

KEYWORDS: Arkhangelsk region, forest planning, territorial and spatial planning, timber industry enterprise territories, settlement system, land use, Sweden

FOR CITATION: Perekopskaya M.A., Alekseev Yu.V. Management of territories that accommodate advanced timber industry enterprises (as illustrated by Sweden and Russia). *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(9):1228-1238. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1228-1238 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Территории Швеции¹ и Архангельской области² обладают достаточным ресурсным потенциалом для обеспечения потребностей предприятий лесопромышленного комплекса и дальнейшего развития лесной индустрии. При этом рассматриваемые территории относятся к северным и являются одними из крупнейших резерваций первозданных природных экосистем на Земле [1]³. Природный комплекс данных территорий уникален, но при этом очень уязвим, что отражено в исследованиях J. Fridman [2], R. Jonsson [3], L. Gamfeldt [4], T. Gregoire [5], H. Mäkelä [6], А.И. Писаренко [7], С.О. Григорьевой [8], М.Ю. Пахтусовой [9] и др.

Постоянно растущее потребление и часто нерациональное использование природных ресурсов⁴, особенно в лесопромышленном комплексе, представляет серьезную угрозу сохранившимся участкам дикой природы Архангельской области. Вопросам размещения лесопромышленного комплекса и использования природных ресурсов Архангельской области посвящены исследования А.Т. Гурьева [10, 11], И.И. Коряпина [12], Н.А. Кондратова [13] и др. Однако градостроительное использование территорий с развитым лесопромышленным комплексом требует научно обоснованного решения, связанного с разработкой количественных методов учета и оценки территориальных ресурсов.

В свою очередь, в Швеции реализован комплекс мер территориально-пространственной орга-

низации развитого лесопромышленного комплекса [14, 15], позволяющих предприятиям функционировать на принципах непрерывности и комплексности использования ресурсов лесных угодий без вовлечения малонарушенных участков природного комплекса. В России, как и во многих государствах, неизменно проявляется большой интерес к заметным достижениям в организации территориально-пространственного планирования и управления развитием лесопромышленного комплекса.

В этой связи изучение подходов к территориально-пространственной организации развитого лесопромышленного комплекса, применяемых в Швеции [16]⁵, актуально и способствует формированию наиболее эффективного инструментария реализации градостроительной политики в Архангельской области [17–19].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При проведении исследования использовался системный анализ градостроительного использования территорий лесопромышленного комплекса Швеции и Архангельской области, позволивший оценить сформировавшиеся системы размещения и взаимосвязи поселений и производств в границах данных территорий, обосновать подходы к размещению предприятий и поселений лесопромышленного комплекса при территориально-пространственном планировании.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Королевство Швеция расположено на севере Европы в восточной части Скандинавского полуострова. Площадь ее территории — 450 тыс. км². Архангельская область расположена на севере европейской части России, и ее площадь составляет 587,4 тыс. км².

Спецификой территории Швеции является ее вытянутость в меридиональном направлении (рис. 1). Такие территории более неустойчивы и сложны для

⁵ The European Forest Sector Outlook Study II 2010-2030. Geneva, 2011. 111 p. URL: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/sp-28.pdf>

¹ Forest statistics 2019: official Statistics of Sweden. Umeå: Swedish University of Agricultural Sciences, 2019. URL: https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata_2019_webb.pdf

² Лесной план Архангельской области. URL: <https://dvinaland.ru>

³ State of Europe's forests 2011: status and trends in sustainable forest management in Europe. Forest Europe, UNECE, FAO. 2011. URL: <https://www.unece.org/forests/fr/outputs/soef2011>

⁴ Global forest resources assessment 2010. Main report: FAO Forestry Report. 340 p. URL: <http://www.fao.org/3/i1757e/i1757e00.htm>



Рис. 1. Схема границ территории Швеции (а) и Архангельской области (b)

Fig. 1. Borders of Sweden (a) and the Arkhangelsk region (b)

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 15. Выпуск 9, 2020
 Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 15. Issue 9, 2020

управления по сравнению с территориями, имеющими компактную по очертаниям, правильную или почти правильную форму, к числу которых относится территория Архангельской области.

«Тремя китами» экономики Швеции называют железную руду, водные и лесные ресурсы. Железная руда была ключевым ресурсом экономики страны вплоть до 1970-х гг., но в последние десятилетия ее роль заметно снизилась. В то же время значение лесных и водных ресурсов продолжает оставаться стабильно высоким.

Лесные ресурсы Швеции характеризуются неравномерностью распределения, лесами покрыто 27 млн га страны (67 % территории), общий запас древесины на корню — 3 млрд м³, ежегодный прирост древесины — 104 млн м³ в год. Около 85–90 % всех лесов — хвойные леса.

Основой экономики Архангельской области являются лесные и водные ресурсы, что обуславливает ее специализацию на заготовке древесины, а также деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности.

В Архангельской области отмечается высокая лесистость территории (72 %), с преобладанием хвойных пород деревьев. Хвойные насаждения составляют 80,2 % от покрытой лесом площади, лиственные — 19,8 %. Общая площадь земель лесного фонда Архангельской области — 28,3 млн га, а общий запас древесины на корню — 2,6 млрд м³.

Представленные количественные и качественные характеристики лесных ресурсов Швеции и Архангельской области демонстрируют схожесть ресурсного потенциала рассматриваемых территорий,

но при этом подход к территориально-пространственному планированию лесопромышленного комплекса, промышленному освоению, возобновлению лесных ресурсов в Швеции и Архангельской области принципиально отличается (табл. 1).

В Швеции преобладает система муниципального планирования. Основная задача территориально-пространственного планирования на местном уровне — использование земельных и водных ресурсов в пределах правовых рамок под контролем правительства. Принципы политики государства в сфере природопользования закреплены в законах «Об охране окружающей среды (1969), «Об охране лесов и рек» (1964), «О воде» (1983).

Муниципалитеты определяют направления развития территорий в генеральных планах и детальных планах развития. Важными составляющими системы территориально-пространственного планирования на муниципальном уровне также являются планы ограничений, обременений и имущественный. Планы ограничений, обременений применяются для защиты национальных интересов, а также целей, установленных генеральным планом. В отношении выделенных определенным образом территорий в детальном плане развития разрабатывается имущественный план. Указанные документы обязательны к исполнению как органами публичной власти, так и частными лицами.

В России применяется система территориального и лесного планирования. Лесное планирование в Архангельской области ориентировано на освоение спелых и перестойных участков эксплуатационных лесов, прогнозирование на долгосрочную

Табл. 1. Специфика градостроительной и лесной политики в Швеции и Архангельской области

Table 1. Features of urban planning and forestry policies in Sweden and the Arkhangelsk region

№ No	Параметр Parameter	Швеция Sweden	Архангельская область Arkhangelsk region
1	Система территориально-пространственного планирования лесопромышленного комплекса The system of spatial planning of timber industry enterprises	Территориально-пространственное планирование на уровне муниципалитетов Spatial planning at the level of municipalities	Лесное планирование на региональном уровне, территориальное планирование на региональном и муниципальном уровнях Forest planning at the regional level; territorial planning at the levels of regions and municipalities
2	Система контроля Control system	Жесткий государственный контроль с использованием современных информационных систем мониторинга территорий Strict state control using modern information systems for the monitoring of territories	Государственный контроль деятельности арендаторов лесных участков по соблюдению проектов их освоения, инвентаризация лесов State control of the activities of lessors of forest plots to assure compliance with terms of development projects; forest inventory
3	Форма собственности на лесные ресурсы Type of forest resources ownership	Государственная и частная Public and private	Государственная Public
4	Модель лесопользования Forest management model	Интенсивная Intensive	Экстенсивная Extensive
5	Размещение предприятий лесопромышленного комплекса Siting of timber industry enterprises	Распределенное Distributed	Концентрированное Clustered
6	Коммуникативные возможности Transport routes	Морские пути с коротким периодом навигации Sea routes with a short navigation period	Морские пути с коротким периодом навигации и сухопутные Sea routes with a short navigation period and land routes
7	Система землепользования Land use system	Адаптационная (активное вовлечение имеющихся земельных ресурсов для лесовыращивания и совмещения с сельскохозяйственной деятельностью) Adaptive (active involvement of available land resources in forest cultivation; combining forest cultivation with agricultural activities)	Безадаптационная (наличие земельных ресурсов, в том числе бывших сельскохозяйственных угодий, которые пригодны для создания лесных плантаций) Non-adaptive (availability of land resources, including former agricultural land suitable for forest cultivation)
8	Транспортная инфраструктура Transport infrastructure	Высокая транспортная доступность участков леса в южной и центральной частях страны (сформирована сеть лесных дорог, что обеспечивает постоянный доступ к данным участкам). Низкая транспортная доступность участков леса на севере страны High transport accessibility of forest areas in southern and central parts of the country (a network of forest roads was built to ensure year-round access to forest areas). Low transport accessibility of forest areas in the northern part of the country	Низкая транспортная доступность лесных участков, преобладание зимников и временных лесных дорог Low transport accessibility of forest areas; predominance of winter roads and temporary forest roads

перспективу сырьевой базы, мероприятий по развитию транспортной инфраструктуры, лесовосстановление без учета факторов размещения предприятий лесопромышленного комплекса, подлежащих рассмотрению при территориальном планировании.

Документы лесного планирования разрабатываются на основании данных инвентаризации лесов. В соответствии с требованиями Лесного кодекса Российской Федерации арендаторы лесных участков разрабатывают проекты освоения данных участков. Со стороны государства осуществляется постоянный контроль за соблюдением арендаторами проекта освоения лесных участков.

Принципиальным отличием Швеции от большинства стран — поставщиков леса на мировой рынок является планомерный рост площади лесов. За последнее столетие в Швеции было произведено лесов больше, чем заготовлено. Этому способствовало законодательно установленное требование, что объем лесозаготовок должен полностью соответствовать объему лесовосстановительных работ. В результате площадь лесов Швеции увеличилась в два раза по сравнению с 1920-ми гг.

На долю государственных лесов приходится 19 %, частных — 53 %, компаний — 28 %.

Большинство лесов в южной и центральной частях Швеции находятся в частной собственности, а особо ценные леса в северной части страны — в государственной и частной собственности в равных пропорциях. Обозначенное разграничение

собственности наряду с пространственным планированием и жестким контролем со стороны государства обеспечивает наиболее рациональное использование лесов и их эффективное восстановление, а также развитие деревообрабатывающей промышленности.

В климатических условиях Швеции и Архангельской области лес растет довольно медленно: для полного созревания при интенсивной модели лесопользования требуется 60–120 лет, а при экстенсивной — 90–150 лет. Но в конечном итоге древесина из лесов данных территорий обладает отличным качеством и идеально подходит для деревообрабатывающей промышленности.

В России закреплена государственная собственность на лесные ресурсы. Низкая плотность населения в многолесных районах России и дефицит рабочих в лесной отрасли способствовали применению экстенсивной модели и преобладанию естественного лесовосстановления, что характерно и для Архангельской области.

Рассматривая ретроспективу освоения лесов в Швеции, стоит отметить, что в XVII в. преобладало очаговое освоение лесов в южной части страны для заготовки дровяной древесины (для хозяйственных нужд населения, обеспечения топливом солеварных и металлургических производств) и развития земледелия. В данный период вдоль западного побережья возникла локальная группа лесопильных производств (рис. 2).

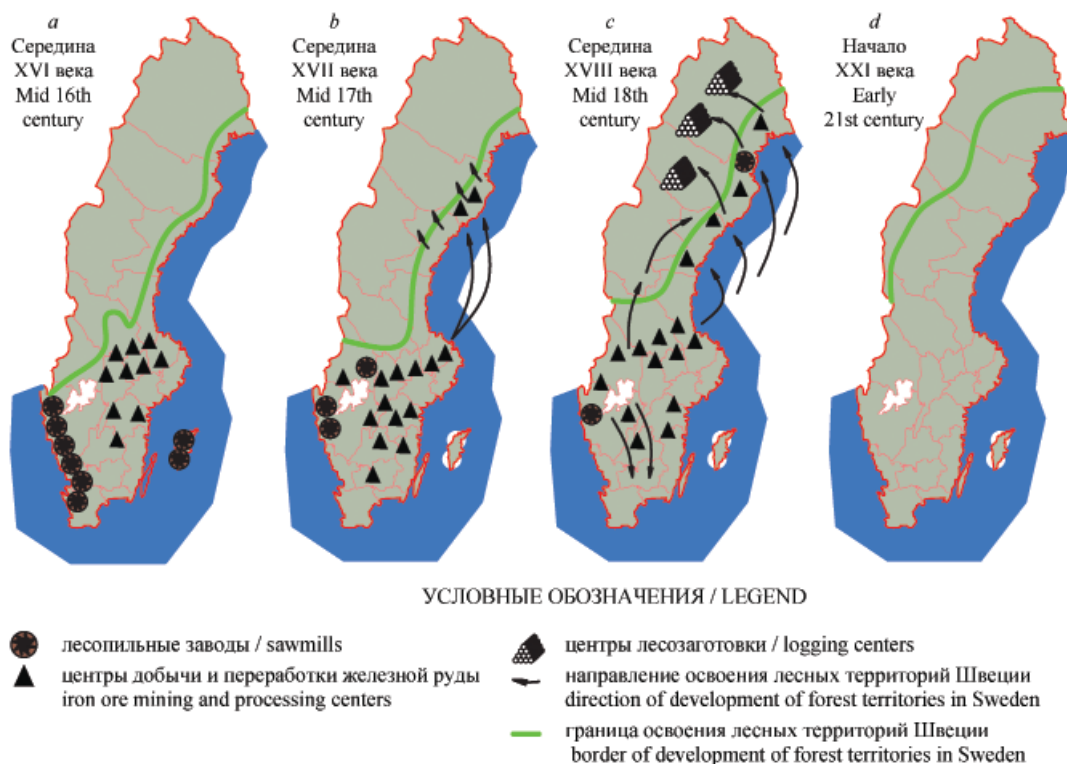


Рис. 2. Схема освоения лесных территорий Швеции

Fig. 2. Forest exploitation in Sweden

Постепенное истощение лесных ресурсов в южной части страны и высокая потребность в дровяной древесине среди горно-металлургических производств обусловили перемещение границ освоения лесов в северном направлении к 1750 г. Потребность лесопильных производств в сырье также способствовала их постепенному перемещению от побережья Норрланда вглубь страны.

В середине XIX в. происходит активная вырубка лесов для увеличения территорий земледелия, потребность горно-металлургических производств в дровяной древесине начинает снижаться в связи с переходом на использование каменного угля, заготовка древесины для лесопильных производств перемещается в северо-восточную часть Швеции.

Кочевое освоение лесных ресурсов привело к значительному обезлесиванию территории в южной и центральной частях страны и пересмотру парадигмы освоения и воспроизводства лесных ресурсов. Также требовалась трансформация системы градостроительного использования территорий, ориентированных ранее на горнодобывающую промышленность.

Разработанная и реализованная в XX в. шведская модель трансформации территориально-пространственной организации лесопромышленного

комплекса оказалась эффективной и обеспечила активное развитие данных территорий.

В настоящее время главные промышленные центры по переработке древесины располагаются в центральной Швеции и на побережье. Следует отметить, что на территории Швеции расположено более 10 крупных предприятий по переработке древесины (ежегодный объем выпускаемой продукции каждым из них более 400 тыс. т) и более 100 предприятий с ежегодным объемом выпускаемой продукцией от 25 до 400 тыс. т (рис. 3).

В Архангельской области переработка древесины осуществляется двумя крупными предприятиями (общий ежегодный объем выпускаемой продукции более 1,2 млн т), а механическая обработка древесины — тремя крупными предприятиями (общий ежегодный объем выпускаемой продукции 2,8 млн м³), а также небольшими лесопильными предприятиями, ориентированными на местное потребление. Подобное сосредоточение производства при экстенсивной модели лесопользования значительно усложняет транспортировку заготовленной древесины к центрам ее обработки и переработки (рис. 4). Перевозка леса по Архангельской области осуществляется на расстояние от 100 до 600 км.

Специфику территории Швеции также определяет ее приморское положение, что обеспечивает

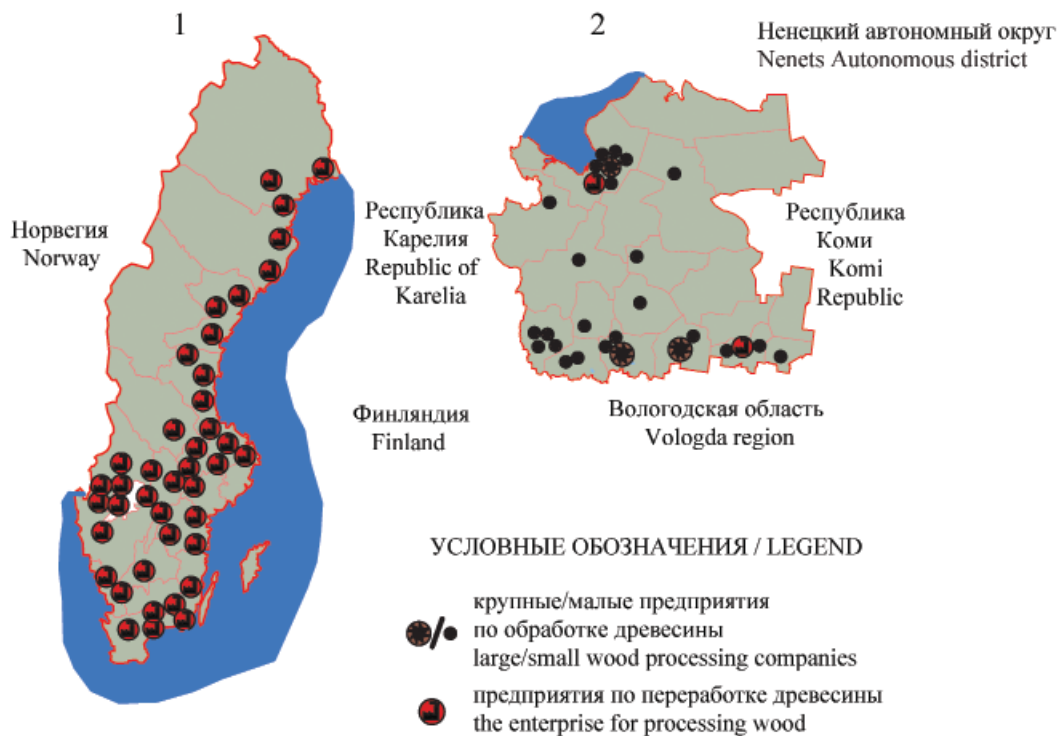


Рис. 3. Схема размещения предприятий лесопромышленного комплекса на территории Швеции (1) и Архангельской области (2)

Fig. 3. The siting of timber industry enterprises in Sweden (1) and the Arkhangelsk region (2)

широкие коммуникативные возможности для организации внешних рынков сбыта готовой продукции лесопромышленного комплекса, но при этом обуславливает некоторые сложности ввиду короткого периода навигации морских судов (с марта по ноябрь).

В Архангельской области для организации сбыта готовой продукции на внутреннем и внешнем рынках также сформированы сухопутные и морские коммуникационные коридоры.

В Швеции существует традиция организации сельского и лесного хозяйства на одной площади, особенно при ведении фермерского лесного хозяйства. Не менее 74 % всех фермерских хозяйств Шве-

ции имеют лесные участки. Средняя ферма Швеции имеет 47 га леса.

В южных районах Архангельской области, специализирующихся на лесозаготовительной деятельности в советских период, также было развито сельское хозяйство. В настоящее время бывшие сельскохозяйственные угодья целесообразно трансформировать в лесные. Следует отметить, что подобный опыт в свое время применялся в Швеции и Финляндии при уменьшении территориальной емкости земледелия в данных странах.

Северная часть Швеции является труднодоступной, малонаселенной и практически неосвоенной территорией.

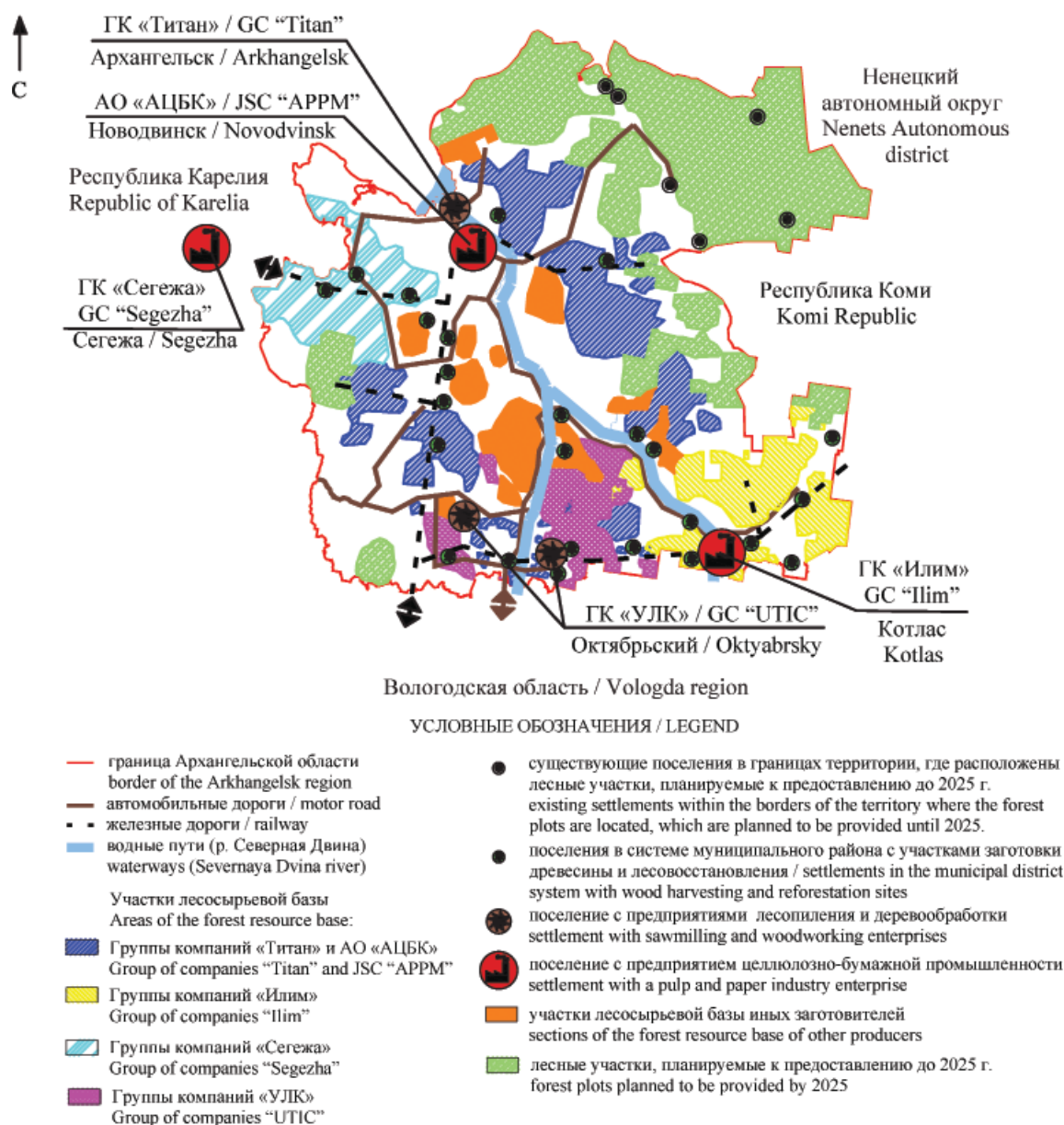


Рис. 4. Схема размещения крупных предприятий лесопромышленного комплекса и участков сырьевых баз в Архангельской области

Fig. 4. The siting of large wood processors and bases of raw materials in the Arkhangelsk Region

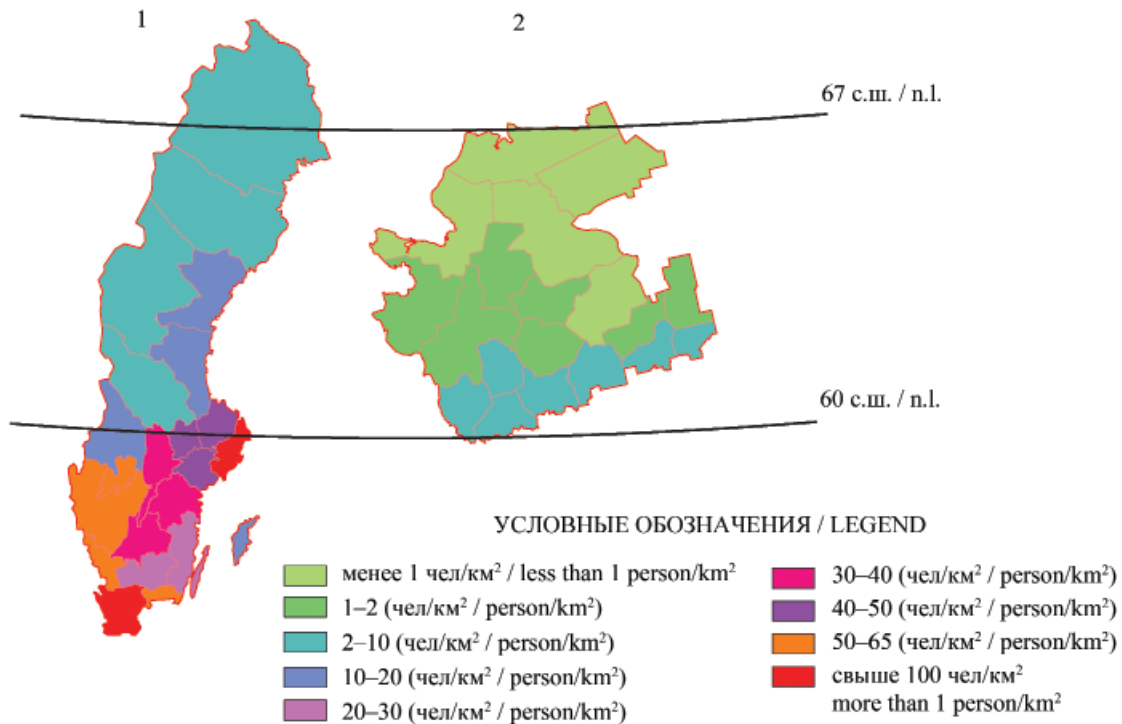


Рис. 5. Плотность населения в Швеции (1) и Архангельской области (2)

Fig. 5. Population density in Sweden (1) and the Arkhangelsk region (2)

Рассматривая особенности размещения населения Швеции, необходимо отметить следующее (рис. 5). Заселение страны из-за сложных природных условий началось в Средневековье. Первые поселения появились на юге страны, у побережья Балтийского моря. В этих районах и сейчас проживает $\frac{3}{4}$ населения страны. В 20-х гг. XIX в. начался процесс перемещения части населения из центральных и южных районов страны в северную часть страны. Вначале люди селились вдоль северных рек и озер, вблизи лесопильных заводов, а затем, по мере развития обрабатывающей промышленности, — на северном побережье Ботнического залива и во внутренних районах Норланда.

Основными чертами урбанизации Швеции можно назвать доминирующую роль столицы, ведущую роль портовых городов и промышленных центров, преобладание в системе городских поселений малых и средних городов с населением 10–20 тыс. чел. (это связано с системой лесозаготовительных производств).

Распределение предприятий лесопромышленного комплекса с реализуемой социальной политикой государства способствует сохранению сложившейся системы расселения в Швеции.

Для Архангельской области также характерна неравномерность размещения населения. Наибольшей плотностью населения отличаются территории с развитым лесопромышленным комплексом. При этом в границах данных территорий формируются

сложные системы расселения, охватывающие обширные территории, в пределах которых осуществляется заготовка древесины.

Большое внимание в Швеции уделяется вопросу обеспечения транспортной доступности лесных участков. В Швеции сформирована сеть лесных дорог постоянного действия за исключением труднодоступных территорий северной части страны. В Архангельской области при лесном планировании также уделяется внимание транспортной доступности лесных участков, но в настоящее время доступ к ним осуществляется посредством временных лесных дорог (срок эксплуатации — 10–15 лет) и зимников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Существующие модели использования территорий с развитым лесопромышленным комплексом в Швеции и Архангельской области принципиально отличаются. Организация и использование территорий лесопромышленного комплекса в Швеции базируется на современных научных достижениях в лесопользовании и осуществляется посредством системы территориально-пространственного планирования.

В свою очередь, в России использование территорий лесопромышленного комплекса базируется на экстенсивной модели лесопользования и осуществляется посредством систем лесного

и территориального планирования, каждая из которых решает только свои задачи.

Накопленный опыт Швеции и других стран (Финляндии, Норвегии, Дании) подтверждает эффективность использования интенсивной модели лесопользования в организации территорий лесопромышленного комплекса и обеспечении их развития. С учетом схожести природно-климатических условий использование данной модели возможно

в научных исследованиях для южной части Архангельской области.

Особое внимание должно быть уделено изменению систем лесного и территориально-пространственного планирования в России путем расширения перечня задач, решаемых в документах территориального планирования регионального уровня. Лесное планирование должно быть подчинено территориально-пространственному в части интенсификации работ по лесовосстановлению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интенсивное устойчивое лесное хозяйство: барьеры и перспективы развития: сб. ст. / под общ. ред. Н. Шматкова. М. : WWF России, 2013. 214 с. URL: <https://wwf.ru/resources/publications/booklets/intensivnoe-ustoychivoe-lesnoe-khozyaystvo-barery-i-perspektivy-razvitiya/>

2. Fridman J., Holm S., Nilsson M., Nilsson P., Ringvall A., Ståhl G. Adapting National Forest Inventories to changing requirements — the case of the Swedish National Forest Inventory at the turn of the 20th century // *Silva Fennica*. 2014. Vol. 48. DOI: 10.14214/sf.1095

3. Jonsson R., Egnell G., Baudin A. Swedish forest sector outlook study. Geneva, 2011. 100 p. URL: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/DP-58_hi_res.pdf

4. Gamfeldt L., Snäll T., Bagchi R., Jonsson M., Gustafsson L., Kjellander P. et al. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species // *Nature Communications*. 2013. No. 4. P. 1340. DOI: 10.1038/ncomms2328

5. Gregoire T., Stahl G., Næsset E., Gobakken T., Nelson R., Holm S. Model-assisted estimation of biomass in a LiDAR sample survey in Hedmark County, Norway // *Canadian Journal of Forest Research*. 2011. Vol. 41. No. 1. Pp. 83–95. DOI: 10.1139/X10-195

6. Mäkelä H., Hirvelä H., Nuutinen T., Kärkkäinen L. Estimating forest data for analyses of forest production and utilization possibilities at local level by means of multi-source National Forest Inventory // *Forest Ecology and Management*. 2011. Vol. 262. Issue 8. Pp. 1345–1359. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.06.027

7. Писаренко А.И. Всемирные лесохозяйственные конгрессы: от предыстории ФАО до современных проблем лесного хозяйства. Памятные научные записки. М., 2016. 408 с.

8. Григорьева С.О., Константинов А.В., Трещевская Э.И. Палеоклиматическая реконструкция ареалов древесных пород территории Северо-Запада России. Воронеж : ВГЛУ, 2018. 118 с.

9. Пахтусова М.Ю., Пластинин А.В. Инвестиционная привлекательность лесного сектора эко-

номики: содержание, оценка, управление. Архангельск : САФУ, 2012. 148 с.

10. Гурьев А.Т. Исследование возобновляемых природных ресурсов на основе данных дистанционного зондирования территорий // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № S5. С. 75–83. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vozobnovlyаемых-prirodnih-resursov-na-osnove-dannyh-distantsionnogo-zondirovaniya-territorii>

11. Гурьев А.Т. Структурное моделирование лесопромышленного комплекса. Архангельск : САФУ, 2012. 93 с.

12. Корятин И.И., Шварцман Ю.Г. Природные ресурсы и факторы экологического риска в Онежском районе Архангельской области // Вестник АГТУ. 2009. № 3. С. 37–44.

13. Калинина М.Р., Кондратов Н.А. Инновационный вектор конкурентоспособности стран Северной Европы: опыт Швеции // *Арктика и Север*. 2018. № 33. С. 5–28. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2018.33.5. URL: http://www.arcticandnorth.ru/upload/uf/7f6/AiS_33.pdf

14. Hooimeijer F., Tummers L. Integrating subsurface management into spatial planning in the Netherlands, Sweden and Flanders // *Urban Design and Planning*. 2017. Vol. 170. Iss. 4. Pp. 161–172. DOI: 10.1680/jurdp.16.00033

15. Холяк С.И. Шведская модель пространственного планирования: функции, проблемы и решения // Вестник БФУ им. И. Канта. Естественные и медицинские науки. 2014. Вып. 7. С. 159–168. URL: <https://journals.kantiana.ru/vestnik/2961/8277/>

16. Кондратов Н.А. Экологические аспекты арктических стратегий государств Северной Европы // *Экология России: на пути к инновациям*. 2013. № 8. С. 127–130. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21119089>

17. Perekopskaya M., Alekseev Yu. Timber industry and forest environmental resources of the North-West Federal District of Russia // *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 110. DOI: 10.1051/e3sconf/201911002006

18. Алексеев Ю.В., Перекопская М.А. Подход к оценке территорий с развитым лесопромышленным

комплексом (на примере Архангельской области // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 2. С. 62–71. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-62-71

19. Самойлова Н.А. Особенности учета территориально-строительного ресурса территорий, фор-

мирование которых связано с добычей полезных ископаемых // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2019. № 3 (40). С. 61–65. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41102310>

Поступила в редакцию 10 апреля 2020 г.

Принята в доработанном виде 4 августа 2020 г.

Одобрена для публикации 25 августа 2020 г.

ОБ АВТОРАХ: **Марина Алексеевна Перекопская** — аспирант кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 960283; mappi25@yandex.ru;

Юрий Владимирович Алексеев — доктор архитектуры, профессор кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 690296; alekseev-grado@yandex.ru.

REFERENCES

1. Shmatkov N. (ed.). *Intensive sustainable forestry: barriers and prospects for development: collection of articles*. Moscow, WWF of Russia, 2013; 214. URL: <https://wwf.ru/resources/publications/booklets/intensivnoe-ustoychivoe-lesnoe-khozyaystvo-barery-i-perspektivy-razvitiya/> (rus.).
2. Fridman J., Holm S., Nilsson M., Nilsson P., Ringvall A., Ståhl G. Adapting National Forest Inventories to changing requirements — the case of the Swedish National Forest Inventory at the turn of the 20th century. *Silva Fennica*. 2014; 48. DOI: 10.14214/sf.1095
3. Jonsson R., Egnell G., Baudin A. *Swedish forest sector outlook study*. Geneva, 2011; 100. URL: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/DP-58_hi_res.pdf
4. Gamfeldt L., Snäll T., Bagchi R., Jonsson M., Gustafsson L., Kjellander P. et al. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications*. 2013; 4:1340. DOI: 10.1038/ncomms2328
5. Gregoire T., Stahl G., Næsset E., Gobakken T., Nelson R., Holm S. Model-assisted estimation of biomass in a LiDAR sample survey in Hedmark County, Norway. *Canadian Journal of Forest Research*. 2011; 41(1):83–95. DOI: 10.1139/X10-195
6. Mäkelä H., Hirvelä H., Nuutinen T., Kärkkäinen L. Estimating forest data for analyses of forest production and utilization possibilities at local level by means of multi-source National Forest Inventory. *Forest Ecology and Management*. 2011; 262(8):1345–1359. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.06.027
7. Pisarenko A.I. *World forestry congresses: from the prehistory of FAO to modern problems of forestry. Memorable scientific notes*. Moscow, 2016; 408 (rus.).
8. Grigor'eva S.O., Konstantinov A.V., Treshchevskaya E.I. *Paleoclimatic reconstruction of wood species areas in the territory of the North-West of Russia*. Voronezh, VSFTU, 2018; 118 (rus.).
9. Pakhtusova M.Yu., Plastinin A.V. *Investment attractiveness of the forest sector of the economy: content, assessment, management*. Arkhangelsk, NAFU, 2012; 148 (rus.).
10. Guryev A.T. Research of renewable natural resources based on remote sensing data of territories. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2010; S5:75–83. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vozobnovlyaemyh-prirodnih-resursov-na-osnove-dannyh-distantionnogo-zondirovaniya-territorii> (rus.).
11. Guryev A.T. *Structural modeling of the timber industry complex*. Arkhangelsk, NAFU, 2012; 93 (rus.).
12. Koryapin I.I., Shvartsman Yu.G. Natural resources and environmental risk factors in the Onega district of the Arkhangelsk region. *Vestnik of ASTU*. 2009; 3:37–44. (rus.).
13. Kalinina M.R., Kondratov N.A. Innovative vector of the Nordic countries' competitiveness: case of Sweden. *Arctic and North*. 2018; 33:5–28. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2018.33.5. URL: http://www.arcticandnorth.ru/upload/uf/7f6/AiS_33.pdf (rus.).
14. Hooimeijer F., Tummers L. Integrating subsurface management into spatial planning in the Netherlands, Sweden and Flanders. *Urban Design and Planning*. 2017; 170(4):161–172. DOI: 10.1680/jurdp.16.00033
15. Kholiyavko S.I. The Swedish model of spatial planning: functions, problems and solutions. *IKBFU's Vestnik. Natural and medical sciences*. 2014; 7:159–168. URL: <https://journals.kantiana.ru/vestnik/2961/8277/> (rus.).
16. Kondratov N.A. Ecological aspects of Arctic strategies of countries of the Northern Europe. *Ecology*

of Russia: on the way to innovation. 2013; 8:127-130. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21119089> (rus.).

17. Perekopskaya M., Alekseev Yu. Timber industry and forest environmental resources of the North-West Federal District of Russia. *E3S Web of Conferences*. 2019; 110:02006. DOI: 10.1051/e3sconf/201911002006

18. Alekseev Y.V., Perekopskaya M.A. Approach to the assessment of territories with a developed forestry

complex (on the example of the Arkhangelsk region). *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020; 2:62-71. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-62-71 (rus.).

19. Samoilova N.A. Features of the account of the territorial construction of online territories, the formation of which is associated with mining. *Natural and technogenic risks. Safety of structures*. 2019; 3:61-65. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41102310> (rus.).

Received April 10, 2020.

Adopted in revised form on August 4, 2020.

Approved for publication on August 25, 2020.

B I O N O T E S : **Marina A. Perekopskaya** — postgraduate student of the Department of Urban Planning of the Institute of Construction and Architecture; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 960283; mappi25@yandex.ru;

Yuri V. Alekseev — Doctor of Architecture, Professor of the Department of Urban Planning of the Institute of Construction and Architecture; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 690296; alekseev-grado@yandex.ru.

Роль городской дисперсии в рациональном использовании энергии в Исламской Республике Иран

А.С. Месризаде

Азербайджанский архитектурно-строительный университет (ААСУ); г. Баку, Азербайджанская Республика

АННОТАЦИЯ

Введение. В связи с ростом урбанизации для повышения производительности важное значение имеет проведение второ- и третьестепенных магистралей, строительство зданий, развитие и защита инфраструктуры, что тесно связано с потреблением энергии. Имеющийся опыт доказывает, что функциональное планирование городских земель влияет на внутригородские перевозки граждан. Поэтому связь городской дисперсии с типом перевозки граждан стала одной из спорных тем. Неконтролируемый и незапланированный рост городов, нерациональное планирование транспорта и территорий повышают ежедневное использование автомобилей во внутригородских перевозках. Поэтому изучение факторов, влияющих на околгородское расширение, может повлиять на уменьшение численности автомобилей внутригородских перевозок. В целом, в результате околгородского расширения, в Иране увеличивается расстояние между жильем и работой, торговыми и развлекательными центрами, что, в свою очередь, влияет на использование личных автомобилей и мотоциклов. А это впоследствии приводит к загрязнению городского воздуха и образованию городских островков.

Материалы и методы. Использовали материалы официальной статистики, данные обследований, географические карты, проекты генеральных планов городов, комплексные транспортные схемы, схемы инженерной и коммуникационной инфраструктур.

Результаты. Бесплановое расширение городов, нерациональное использование энергии приводят к непродуктивному использованию ресурсов и отрицательным экономическим, социальным результатам. Проблемы, связанные с городской дисперсией в мире, являются особенностью эпохи антропоцена.

Выводы. Использованы документальная методика (печатные книги, статьи, электронная библиотека). Невозможно достичь рационального использования энергии, комплектации и озеленения города, устранив автомобильную зависимость, основываясь на исследованиях. Также, учитывая развитие информационных и коммуникационных технологий, упразднение автомобилей в проектировании и планировании новых городов в Иране может иметь важное и жизненное значение в устранении экономических, социальных и многих других проблем.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: урбанизация, городская дисперсия, автомобили, окружающая среда, рациональный, земля, энергия, перевозка, планирование, проектирование

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Месризаде А.С. Роль городской дисперсии в рациональном использовании энергии в Исламской Республике Иран // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 9. С. 1239–1248. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1239-1248

The role of urban dispersion in rational energy use in the Islamic Republic of Iran

Ahad S. Mesrizade

Azerbaijan University of Architecture and Construction (AUAC); Baku, Republic of Azerbaijan

ABSTRACT

Introduction. Growing urbanization entails the construction of secondary and tertiary highways, buildings, development and protection of the infrastructure, aimed at improving the performance of cities; these actions are closely related to power consumption. The experience has proven that the functional planning of urban areas influences urban transportation. Therefore, the link between urban dispersion and types of transportation has turned into one of arguable points. Uncontrollable and spontaneous urban growth, irrational nation-wide traffic and area planning boost the daily use of cars in the cities. Therefore, the study of the factors that influence suburban sprawl can influence the reduction in the number of urban cars. On the whole, suburban sprawl in Iran increases the distance between home and workplace, shopping malls and entertainment centres, and influences the use of personal vehicles and motorcycles. And it can pollute urban air and generate urban heat islands.

Materials and methods. The co-authors have taken advantage of the official statistics, examination findings, geographical maps, draft master plans for cities, integrated transportation plans, plans of engineering and communication infrastructures.

Results. Any spontaneous expansion of cities, irrational power consumption cause inefficient use of resources and negative economic and social results. Problems of urban dispersion is a feature of the Anthropocene epoch.

Conclusions. The co-authors employed document analysis (printed books, articles, and digital libraries). Rational energy consumption, harmonious urban development and gardening are only feasible if reliance on cars is eliminated. Also, given the development of information and communication technologies, withdrawal of cars from designs and plans of new cities in Iran may be of vital importance for the elimination of economic, social, and numerous other problems.

KEYWORDS: urbanization, urban dispersion, vehicles, environment, rational, land, energy, transport, planning, design

FOR CITATION: Mesrizade A.S. The role of urban dispersion in rational energy use in the Islamic Republic of Iran. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(9):1239-1248. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1239-1248 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Обзор показателей 2007 г. показал, что более половины жителей Земли проживало в городах. По статистике 2017 г., в Иране 74,1395 % населения живет в городах, менее 26 % — в деревнях¹. Поэтому рост урбанизации всегда должен быть в центре внимания. В Иране рост урбанизации приводит к самопроизвольному увеличению городов, что, в свою очередь, оказывает серьезное воздействие на окружающую среду, экономику, а самое главное — на нерациональный расход энергии. В крупных городах, в особенности в Тегеране, необходимо учитывать тесную взаимосвязь между плотностью населения и потреблением энергии в зданиях и в транспортном секторе. Также немаловажную роль играют организация целесообразного и качественного общественного транспорта, централизованных торговых центров, обустройство пешеходных и велосипедных дорожек.

Выражение «городская дисперсия» впервые было введено защитниками окружающей среды (рис. 1). Используя его, они старались объяснить процесс уменьшения пригородных сельских земель в результате увеличения городского населения и пригородных зданий [1]. Некоторые специалисты считают низкую плотность населения, горизонтальное расширение, увеличение пригородных застроек

и наличие автомобилей [2]. Стабильность городов является одним из видов длительного развития, охватывающего городские территории и окружающую среду. Тем не менее стабильный прогресс города может происходить в том случае, если его принципы и стратегии могут использоваться в качестве основного направления процесса развития города [3].

Для городской дисперсии характерна низкая плотность, образованная наличием таких крупных функциональных участков, как автомобильные парки, небольшие бизнес-центры и отдельные жилые единицы [4]. Исследователи определили несколько показателей для измерения городской дисперсии. Были выявлены самые важные критерии для городской дисперсии Glaster — плотность, стабильность, фокус, централизация, группировка, объединенные функции и доступность транспорта [5]. Городская дисперсия — показатель роста урбанизации. В развивающихся странах в связи с ростом городского населения были уничтожены леса прямыми и косвенными путями. Например, леса, составляющие 35 % территории Азербайджана, на данный момент (2012 г.) сократились до 11,8 %. В Иране преобразование лесных земель в хозяйственные угодья, а их — в городские территории, уничтожение посадочных площадей, незапланированное и нерациональное использование земель, разделение функций приводят к снижению значимости центра городов и зависимости транспортной системы от автомобилей и к другим аналогичным проблемам.

¹ URL: <https://www.amar.org.ir>



Рис. 1. Городская дисперсия

Fig. 1. Urban dispersion

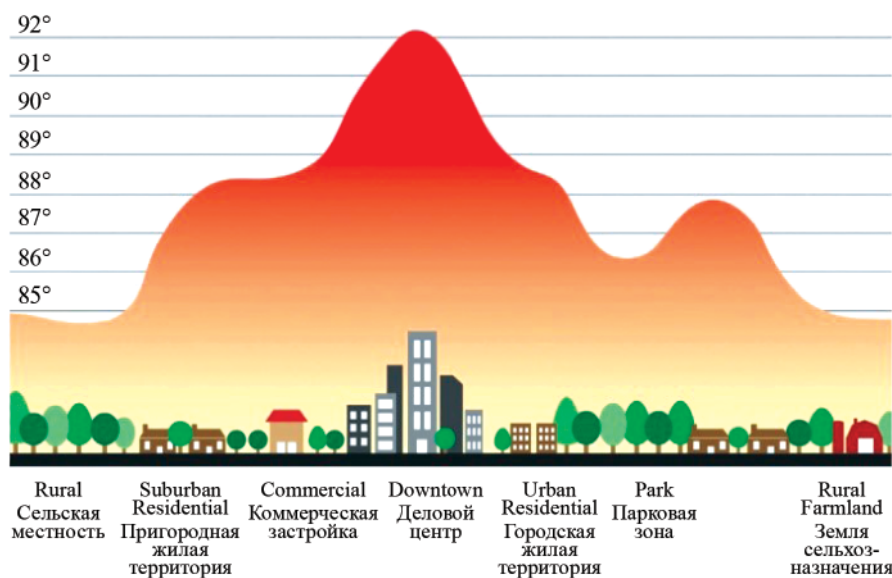


Рис. 2. Городской термальный остров

Fig. 2. Urban Heat Island

В результате чего образуются пробки, повышается спрос на энергию, что приводит к образованию Urban Heat Island — городского острова тепла (ГОТ) и загрязнению окружающей среды [6] (рис. 2).

Эксплуатация транспортных средств вызывает иррациональное использование земли, энергии, воды (для мойки машин) и ресурсов в городе. Кроме того, загрязнение окружающей среды и многие другие вопросы связаны с массовым использованием автомобилей. К проблемам, возникающим в результате этого, относятся: образование дисперсных инфраструктур, прямые и косвенные транспортные расходы (дорожно-транспортные происшествия, загрязнение и т.д.), неэффективное использование общих ресурсов [7].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнена на основе изучения опубликованных источников. Методы исследования основываются на проблемах, образованных в результате урбанизации и дисперсии городов, на заключениях иранских и иностранных исследователей, а также на печатных и электронных книгах и публикациях. Так, экономические проблемы, проблемы энергии, окружающей среды и другие, вызванные урбанизацией и городской дисперсией, рассматриваются в определенных разделах статьи.

Городская дисперсия

Отрицательные результаты дисперсии городов Ирана. С XIX в., по причине стремительного развития промышленности в развитых странах и концентрации инвестиций, рост городов происходил незапланированно [8]. Этот процесс в настоящее время продолжается во всех городах Ирана. Для

роста городского населения и повышения производительности труда важное значение имеют строительство второ- и третьестепенных магистральных дорог, строительство и охрана зданий и инфраструктур, что влечет за собой огромный расход энергии. Тенденция децентрализации в развитии городов сопровождается расширением городских территорий и границ, освоением новых территорий для строительства. Низкая плотность городов Соединенных Штатов Америки, дисперсный рост городов, расширение пригородных территорий — это результат доминирования автомобилей. В результате чего Америка считается в мире самой энергопотребляющей страной. Несмотря на различие основ, в горизонтальной экспансии Китая и США наблюдается схожесть. Основное различие пригородной экспансии Китая и США в том, что богатые слои населения в США предпочитают жить в пригородных районах. В США это привело к горизонтальной урбанизации. В Китае центр города имеет огромное значение и представляет интерес для богатых. Однако люди, которые не в состоянии купить жилье в центре, вынуждены селиться в пригородных районах. А это, в свою очередь, способствует дисперсии городов и проблемам, связанным с ней, особенно нерациональному использованию энергии и непродуктивной экономике.

Нерациональное использование энергии, связанное с дисперсией городов Ирана. Отсутствие определенного государственного плана в отношении городских и пригородных территорий привело к росту частного сектора на строительном рынке. За этим последовало нарушение структуры города и баланса населения. Масштабное использование автомобилей, с одной стороны, дороговизна земли

в центре города, с другой стороны, привели к горизонтальной урбанизации. Таким образом, пригородные зоны разделились на две части: зоны для богатого населения и зоны для бедного населения. Городская дисперсия имеет ряд недостатков, наиболее главным из которых является нерациональное использование энергии и бюджета. К примеру, муниципалитеты не требуют устойчивых методов строительства, малоэтажности жилых домов и зданий, экономии энергии, строительства дорог, предоставления коммуникационных услуг (газа, воды, канализации и т.д.); в целом, снабжение и транспортировка сырья для градостроительства тесно связаны с энергопотреблением и классифицируются, как скрытая энергия. В пригородных районах, населенных богатым населением, использование энергозатратных (SUVs) транспортных средств, наличие у большинства семей двух автомобилей и использование в пригородных районах, населенных бедными слоями населения, автомобилей с истекшим сроком эксплуатации, а также многие другие вопросы приводят к высокому энергопотреблению. Учитывая это, специалисты работают над улучшением и развитием городского транспорта в Лос-Анжелесе. С 2008 г. в этом городе на развитие общественного транспорта было потрачено много средств, не построены новые магистрали, в городе возросло пешеходное и велосипедное движение.

В Иране для предотвращения уничтожения посевных площадей, нерационального использования ресурсов и энергии нельзя допускать незапланированный, бесконтрольный и неисследованный рост пригородного строительства. Если сегодня не остановить дисперсию городов Ирана, для создания дополнительных инфраструктур и услуг потребуется

много средств и энергии, что в дальнейшем приведет к еще большей растрате средств и расходу энергии для поддержания состояния города.

Городская дисперсия, транспорт

Влияние городского плана на внутригородской транспорт. Опыт последних лет показывает, что функциональное планирование земель влияет на внутригородской транспорт. По этой причине тема пригородного строительства и типов пассажирского транспорта стала одной из спорных тем. Бесконтрольный и незапланированный рост городов, нецелесообразное планирование транспорта и земель увеличивают ежедневное использование автомобилей. Исследование факторов, воздействующих на пригородные расширения, может влиять на уменьшение количества автотранспортных средств. В целом, в Иране в результате пригородного расширения увеличение расстояния от места проживания до места работы, торговых и развлекательных центров влияет на семейное использование таких транспортных средств, как автомобили и мотоциклы (рис. 3).

Поскольку структура города оказывает значительное влияние на физическую активность граждан, специалисты по городскому планированию из многих стран сосредоточили свое внимание на решении экологических проблем, связанных с городским планированием [9]. В прошлом веке одной из главных причин загрязнения городской среды стало широкое использование автомобилей. Негативные последствия роста использования автомобилей и мотоциклов в крупных городах Ирана настолько велики, что без долгосрочных инвестиций невозможно будет сбалансировать ситуацию. На городских территориях для автомобилей предус-



Рис. 3. Трафик на въезде и выезде из городов

Fig. 3. Traffic at city exits and entrances

матрируются большие участки и дороги. Это, в свою очередь, оказывает негативное влияние на свободное движение пешеходов и велосипедистов [10]. По этой причине исследование воздействия физических характеристик города на городской транспорт может сыграть важную роль в рациональном использовании энергии, чем урегулирует чистоту окружающей среды и обеспечит стабильность города. Пешеходное движение зависит от некоторых факторов, например от плотности населения, функций городских земель и доступности общественного транспорта [7]. Интеграция жилых районов с высокой плотностью и дополнительные функции в результате использования транспортных средств могут значительно повлиять на загрязнение окружающей среды [11]. Несмотря на различные идеи, доступные в этой области, в большинстве теорий и дискуссий в качестве инструмента для образцов устойчивого развития поддерживается компактный тип планировочной структуры города. Кроме этого, многие исследования показывают, что жители кварталов с высокой плотностью и смешанными функциями, как правило, предпочитают больше ходить пешком. Поэтому в районах с низкой плотностью объем движения транспортных средств ниже [12, 13]. Однако физические факторы города могут влиять на плотность, интеграцию функций и транспортных сетей, на пешеходные и велосипедные дорожки и на выбор транспортных средств [14]. Такие физические факторы уменьшают дистанции для перевозок в различных направлениях и влияют на тип и количество городского транспорта, поскольку между типом использования городских земель и транспортом существует взаимосвязь.

Горизонтальный рост, пригородные застройки и рассредоточение сервисных центров сократят использование сети общественного транспорта и увеличат использование автомобилей. В результате спрос на энергию увеличится, и непосредственно, в связи с этим, возникнет много других проблем. Исследование влияния горизонтальных и вертикальных свойств на ежедневную перевозку граждан может сыграть важную роль в управлении автомобильным и мотоциклетным транспортом, а также может стать эффективной стратегией в транспортном движении и очистке городской среды.

Автомобильная зависимость. Одним из способов уменьшения зависимости от автомобиля и сведения до минимума его использования служит изменение методов городского планирования. Здесь может быть целесообразно рациональное использование городских земель и разумное распределение деятельности и функций города [15]. Плотность городского населения, в отличие от городской дисперсии, влияет на количество и расстояние внутригородской перевозки, тем самым снижая автомобильную зависимость. Австралийские ученые Peter Newman и Jeffrey Kenworthy провели в 32-х

больших городах исследования, связанные с расходом топлива в городе. Согласно этим исследованиям, между плотностью населения и расходом топлива существует тесная взаимосвязь [16]. Так как плотность населения в городах США равна 1/4 городов Европы и 1/12 городов Азии, потребление энергии на душу населения в 4 раза больше европейских и в 10 раз больше азиатских городов.

Джеффри Кенворси в 2010 г. утверждал, что для избавления от автомобильной зависимости надо изменить модель развития города, на которую потребуется 10–20 лет. Эта политика будет иметь эффект при технологических реформах на долгосрочную перспективу [17]. Например, нововведения в области усовершенствования двигателя внутреннего сгорания. Плотность в этом случае может воздействовать на автомобильную зависимость, если будут присутствовать и другие обстоятельства, такие как: эффективная и качественная система общественного транспорта, наличие централизованных торговых центров, создание соответствующих пешеходных и велосипедных дорожек. Другими словами, невозможно снизить автомобильную зависимость путем увеличения количества зданий. Во многих городах Ирана структура города, плотность населения, активная деятельность и распределение функций не были скоординированы. Нехватка и неправильное распределение сервисных центров, низкая занятость, отсутствие эффективной общественной транспортной системы и соответствующих соседствующих центров, в особенности в крупных городах, стали причиной использования населением автомобилей и мотоциклов. Большинство жителей для удовлетворения жизненных потребностей вынуждены ездить в другие районы города. Это привело к тому, что частота использования автомобилей и велосипедов жителями районов с высокой плотностью не отличается от районов с низкой плотностью населения [18]. Согласно отчету ООН, политика автомобильной промышленности, низкое качество системы общественного транспорта и незапланированное расширение городов на Ближнем Востоке еще больше усилили автомобильную зависимость [19]. В результате городской дисперсии пользование землей, система общественного транспорта, энергопотребление не могут быть рациональными.

Роль городской дисперсии в росте эмиссии углекислого газа. Сравнение территорий с низкой и высокой плотностью показало, что выбросы углекислого газа выше в районах с низкой плотностью. Жители пригородов США, как правило, живут в больших домах, чаще используют автомобили, и им приходится преодолевать более длинные расстояния, связанные с работой и прочими вопросами. Эти три вопроса имеют огромное влияние на нецелесообразный расход энергии. По этой причине потребление энергии в пригородных районах

достаточно высоко, хотя на этом проблемы не заканчиваются. Так, существует скрытая энергия, используемая для строительства дополнительных дорог и связанных с этим расходов на производство и транспортировку материалов, коммуникационные услуги (канализация, коммуникация, вода, газ и т.д.). В районах с высокой плотностью, напротив, в связи с существующей инфраструктурой, выброс углекислого газа ниже. Поэтому городские жители в основном живут в маленьких квартирах и вместо энергозатратных автомобилей SUVs пользуются общественным транспортом. Согласно исследованиям, потребление энергии в пригородных домах на 25 % больше, чем в центре города. В Америке для сокращения эмиссии углекислого газа пригородные дома используют половину выделенной для этих целей субсидии. В действительности в пригородных домах очень высокое потребление энергии. Фактически, население, живущее на окраине города, отрицательно влияет на оптимальный расход энергии населения с более высокой плотностью. Вот почему в стратегии уменьшения эмиссии углекислого газа пригородным районам нужно уделять больше внимания.

Городская дисперсия и иррациональная экономика

Экономические и социальные проблемы городской дисперсии. В 1950 г. жизнь в пригородных районах стала обычным явлением, и градостроители выразили сожаление по поводу дисперсной модели, созданной в городах США и Канады [20]. Дисперсия городов или пригородная жизнь означает горизонтальное расширение жилых единиц с низкой или относительно низкой плотностью населения на большой территории. Образование таких пригородных строений связано с отсутствием плана развития города. Это, в свою очередь, приводит

к увеличению экономических и энергетических расходов, а также расходов на социальную службу, полицию, пожарную службу, образование и т.д. Неравномерное и незапланированное расширение городов напрямую или косвенно затрагивает экономические и социальные вопросы:

1. Нерациональное использование энергии в домах и зданиях.
2. Автомобильная зависимость и следующий из этого дополнительный расход энергии.
3. Лишний вес, как результат постоянного использования автомобиля, и следующие из этого болезни.
4. Затопление из-за переизбытка асфальтированных дорог и эрозия почвы.
5. Скрытая энергия, потребляемая для строительства дорог (производство и перевозка материалов и т.д.).
6. Загрязнение окружающей среды.
7. Образование ГОТ.
8. Возникновение астмы.
9. Социальная изоляция.
10. Непоследовательное развитие региона и разрушение земель сельскохозяйственного назначения.
11. Уничтожение лесов и нарушение природного равновесия и т.д. (рис. 4).

Преобразование хозяйственных земель и садов в городские территории в результате дисперсии городов. Образование ГОТ является результатом урбанизации, плотности в центре городов и загрязнения окружающей среды [21]. В 1982 г. в результате образования ГОТ в г. Мешхед средняя температура повысилась на 1,6 °С [22]. Если провести повторное исследование, мы станем свидетелями повышения температуры до 8 °С. Температура термального острова тепла в г. Куала-Лумпур повысилась на 6–7 °С [23]. Другое исследование острова тепла



Рис. 4. Изменение функции лесов

Fig. 4. Forest function change

этого города показывает, что причинами его образования стали тип городского строения, низкий уровень озеленения и искусственная жара (охлаждающие системы зданий, автомобили и фабрики, расположенные в черте города) [24]. По сути, современные здания представляют собой сложную энергетическую систему, состоящую из разных элементов: объединяющих конструкций, системы отопления и вентиляции, системы освещения, гелиосистемы, панели искусственного льда, технологического оборудования и т.д. [25, 26]. Преобразование пригородных фруктовых садов и сельскохозяйственных угодий в городские территории повышает температуру города. Однако самая низкая температура была зафиксирована на дачных участках [27]. В 1995 г. N.A. Burney, используя метод cross-sectional study и проведя межгосударственные исследования, пришел к выводу, что в разных странах влияние роста городского населения на расход энергии различно [28]. М. Лензен и его коллеги, сравнив в 2006 г. влияние роста городского населения на расход энергии в Австралии, Бразилии, Дании, Индии и Японии, также пришли к выводу, что влияние городского населения на общее потребление энергии в этих странах различно. Исследования показывают, что во многих странах рост населения приводит к увеличению потребления энергии [29]. В городах Ирана на расход энергии влияет стремительный рост городского населения, в результате чего незапланированно расширяются города, что приводит к ежедневной транспортировке автомобилей из пригородных районов в город и обратно, пробкам, нерациональному расходу энергии и незапланированному проектированию городских и пригородных жилых земель, не назначенным и невостребованным муниципалитетом нормативам рационального расхода энергии в строительстве и многим другим вопросам. В 1989 г. Д.В. Джонс в своем исследовании пришел к выводу, что в развивающихся странах рост городского населения приводит к увеличению расхода энергии на душу населения и на производственную единицу [30]. В результате других исследований было установлено, что, используя метод granger causality test в течение определенного времени, между урбанизацией и расходом энергии были выявлены granger причины, связанные с расходом энергии. Golvani, Ganbary, Javan Nejad в 2013 г., используя модель ARDL и информацию 1972–2009-х гг., для информационной панели исследовали связь между расходом энергии и ростом городского населения в Иране. Результаты их исследований показывают, что рост городского населения имеет краткосрочное и долгосрочное положительное воздействие на расход энергии [31].

РЕЗУЛЬТАТЫ

После промышленной революции в мире стремительный рост урбанизации впервые наблюдался

в Европе, а далее в развивающихся странах. Но важно понять значение задачи урбанизации, связанной с экономическим и социальным развитием. В связи со стремительным ростом урбанизации в Иране, дисперсия роста городов играет огромную роль в увеличении потребления энергии и увеличении выбросов парниковых газов. Так, в результате процесса стремительной урбанизации в городах возникли различные проблемы, в том числе нерациональное использование энергии, непродуктивная экономика, неразвитая инфраструктура, социальные проблемы, загрязнение окружающей среды и многие другие серьезные проблемы.

В связи с дисперсией городов Ирана, план государственной стратегии по предотвращению нерационального использования энергии, автомобильной зависимости городских перевозок, загрязнения окружающей среды, экономических и социальных проблем, уничтожения хозяйства и лесов должен быть кратковременным и долгосрочным. В Иране невозможно остановить строительство городов, как в других странах, однако нет заинтересованности в системном управлении этой отрасли. По этой причине число городов бессистемного типа в 1956 г. составляло 201 город, а в 2016 г. — 1245 городов.

ВЫВОДЫ

Для рационального использования энергии в системе градостроительства Ирана должно быть приостановлено дисперсионное развитие существующих городов, и наряду с этим города постепенно должны формироваться соответственно движению пешеходов и велосипедистов. Кроме этого, в новообразующихся компактных и безавтомобильных городах должны быть созданы условия для хозяйства (рациональное использование земли). Улицы, здания и сооружения должны проектироваться с учетом климатических условий. Расстояние с окраины до центра города должно занимать 20–25 минут ходьбы пешком, т.е. не должно превышать радиуса 1500 м. Численность населения и количество жилых, торговых, образовательных, медицинских и административных зданий должны определяться на этапе планирования. Города, создаваемые для расширения этих городов, должны создаваться рядом с этими же городами с учетом географических условий и тем же методом. Перевозка в новых городах должна осуществляться пешеходами и велосипедами, в исключительных случаях на электромотоцикле. Электрические железные дороги имеют всего три линии, связывающие город с севера на север, от центра к центру и с юга на юг. Также должна быть предусмотрена платная или бесплатная велосипедная система. Дороги, шириной в 7 м, должны располагаться горизонтально и вертикально (в шахматном порядке). Горизонтальные дороги и блоки следует проектировать с учетом климатических

условий, а также направления солнца и ветра под нужным углом. Для рационального использования ветра и солнца здания также следует планировать в шахматном порядке. Высота зданий и сооружений может варьироваться от 9 до 12 этажей. На крышах всех зданий должны быть установлены солнечные панели и ветряные турбины. Правильное расстояние между зданиями позволит эффективно использовать солнце и ветер даже в городских хозяйственных областях.

Проблема безработицы в новых городах решается большим количеством специальных и неболь-

ших цехов. Наряду с этим, для озеленения городов с учетом климатических условий высаживаются карликовые фруктовые деревья, лекарственные растения и т.п., производство контролируется муниципалитетом, в результате чего увеличивается количество рабочих мест. Такое озеленение создает условия для пчеловодства. Эти города удовлетворяют свои потребности на высшем уровне. Рациональное использование природной энергии этих городов, ограничение транспортных потребностей, создание минимальных инфраструктур приводят к высокому уровню энергоэффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Babai Agdam F.* Analysis of the use of suburban areas. Research: the city of Tabriz: Ph. D dissertation (Tabriz University). Tabriz, 2008. URL: <https://ganj-old.irandoc.ac.ir/articles/468484>
2. *Wassmer R.W.* Fiscalisation of Land Use, Urban Growth Boundaries and Non-central Retail Sprawl in the Western United States // *Urban Studies*. 2002. Vol. 39. Issue 8. 1307–1327. DOI: 10.1080/00420980220142655
3. *Smith D.D.* Third World Cities. 2nd edition. Routledge, 1987. URL: <https://www.abebooks.com/book-search/title/third-world-city/author/drakakis-smith-david/>
4. *Siembab W.* Smart Sprawl Strategy: Because Smart Growth is Too Little Too Late. PLANETIZEN.com, August, 2005. URL: <http://siembab.com/docs/smartsprawl.pdf>
5. *Galster G., Hanson R., Ratcliffe M.R., Wolman H., Coleman S., Freihage J.* Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and measuring an elusive concept // *Housing Policy Debate*. 2001. Vol. 12. Issue 4. Pp. 681–717. DOI: 10.1080/10511482.2001.9521426
6. *Ewing R.* Is Los Angeles-Style Sprawl Desirable? // *Journal of the American Planning Association*. 1997. Vol. 63. Issue 1. Pp. 107–126. DOI: 10.1080/01944369708975728
7. *Newman P.W.G.* Sustainability and cities: extending the metabolism model // *Landscape and Urban Planning*. 1999. Vol. 44. Issue 4. Pp. 219–226. DOI: 10.1016/S0169-2046(99)00009-2
8. *Нагуев Н.Г.* Современное градостроительство Азербайджанской республики. Баку : Издательство Работник образования, 2011. 303 с.
9. *Gärling T., Steg L.* Threats from Car Traffic to the Quality of Urban Life // *Emerald Publishing*. 2007. Pp. 451–467. DOI: 10.1108/9780080481449-025
10. *Greene D.L., Wegener M.* Sustainable transport // *Journal of Transport Geography*. 1997. Vol. 5. Issue 3. Pp. 177–190. DOI: 10.1016/S0966-6923(97)00013-6
11. *Newman P., Kenworthy R.J.* Cities and Automobile Dependence : a Sourcebook. USA: Gower Publishing Company, 1991. URL: <http://worldcat.org/isbn/0566070405>
12. *Cervero R.* Built environments and mode choice: toward a normative framework // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2002. Vol. 7. Issue 4. Pp. 265–284. DOI: 10.1016/S1361-9209(01)00024-4
13. *Cranea R., Crepeaub R.* Does neighborhood design influence travel? A behavioral analysis of travel diary and GIS data // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 1998. Vol. 3. Issue 4. Pp. 225–238. DOI: 10.1016/S1361-9209(98)00001-7
14. *Litman T.* Land Use Impacts on Transport How Land Use Factors Affect Travel Behavior. Canada : Victoria Transport Policy Institute, 2008. Pp. 25–64. URL: <https://www.researchgate.net/publication/237286191>
15. *Jahan Shahlu L., Amini I.* Urban planning and its role in the stability of urban transport // *Proceeding in VII conference on transport engineering and traffic in Iran*. Transport and Traffic Department of Tehran. Tehran Municipality. Iran, 2006. Pp. 7–15. URL: https://www.civilica.com/Paper-TTC07-TTC07_024.html
16. *Kenworthy J., Laube B.F.* Automobile dependence in cities: An international comparison of urban transport and land use patterns with implications for sustainability // *Environmental Impact Assessment Review*. 1996. Vol. 16. Issue 4–6. Pp. 279–308. DOI: 10.1016/S0195-9255(96)00023-6
17. *Kenworthy J.* Urban Planning and Transport Paradigm Shifts for Cities of the Post-Petroleum Age // *Journal of Urban Technology*. 2007. Vol. 14. Issue 2. Pp. 47–70. DOI: 10.1080/10630730701531708
18. *Te-Qi Dai, Feng-Jun Jin.* Formation of Los Angeles's low density and high car dependence // *Journal of Chongqing University*. 2009. Vol. 8. Issue 1. Pp. 25–31. URL: <http://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?DocID=16718224-200903-200906290014-200906290014-25-31>
19. *Houpin S.* Urban mobility and sustainable development in the Mediterranean: Regional diagnostic outlook. Sophia Antipolis, 2010. URL: <http://planbleu.com>

org/sites/default/files/publications/synthese_moburb_damas_en.pdf

20. *Gottdiener M., Budd L.* Key Concepts in urban studies. SAGE Publications Ltd, 2005. DOI: 10.4135/9781446279120

21. *Peterson T.C., Owen T.W.* Urban heat island assessment: metadata are important // *Journal of Climate*. 2005. Pp. 2637–2646. DOI: 10.1175/JCLI3431.1

22. *Farzandi M., Rezai Parjand H., Seyyid Nejad Golhatmi N.* Determination of annual heat exchange point with gray system dependence analysis for Mashhad thermal islands // *Journal of Environmental Dangers*. 2014. Vol. 3. Issue 4. Pp. 49–59. DOI: 10.22111/JNEH.2014.2468

23. *Sham S.* Urban climatology in Malaysia: An overview // *Energy and Buildings*. 1990. Vol. 15. Issue 1–2. Pp. 105–117. DOI: 10.1016/0378-7788(90)90121-X

24. *Elsayed I.* Mitigation of the urban heat island of the city of Kuala Lumpur, Malaysia // *Middle-East Journal of Scientific Research*. 2012. Vol. 11. Issue 11. Pp. 1602–1613. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2012.11.11.1590

25. *Aliyev F.* International ecoenergy academy. Russian-Azerbaijan-English dictionary ecoenergy terms. 2001. 187 с. URL: <http://ieecacademy.org/?mdocs-file=1369>

26. *Aliyev F., Aliyev F.* Microclimate of construction complex. Baku, 2017. 240 с. URL: <http://ieecacademy.org/?mdocs-file=1373>

27. *Musevi Baigi M., Ashraf B., Farid H., Miyad Abadi Ameni A.R.* Investigation of thermal islands of Mashhad with satellite images and Fractal theory // *Journal of Environmental Dangers*. 2013. Vol. 1. Issue 1. Pp. 35–49. URL: https://www.civilica.com/Paper-JR_GEH-JR_GEH-1-1_003.html

28. *Burney A.N.* Socioeconomic development and electricity consumption A cross-country analysis using the random coefficient method // *Energy Economics*. 1995. Vol. 17. Issue 3. Pp. 185–95. DOI: 10.1016/0140-9883(95)00012-J

29. *Lenzena M., Wierb M., Cohenc C., Hayamid H., Pachaurie S.H., Schaeffer R.* A comparative multivariate analysis of household energy requirements in Australia, Brazil, Denmark, India and Japan // *Energy*. 2006. Vol. 31. Issue 2–3. Pp. 181–207. DOI: 10.1016/j.energy.2005.01.009

30. *Donald W.J.* Urbanization and Energy Use in Economic Development // *The Energy Journal on JSTOR*. 1989. Vol. 10. Issue 4. Pp. 29–44. URL: <https://www.jstor.org/stable/41322370>

31. *Ganbari A.* Investigation of the connection between energy consumption and urban development in Iran using the “ARDL” method // *Quarterly Journal of Energy Economics Studies*. 2012. Vol. 9. Issue 35. Pp. 101–119. URL: <https://www.sid.ir/fa/journal/View-Paper.aspx?id=185671>

Поступила в редакцию 25 октября 2019 г.

Принята в доработанном виде 7 августа 2020 г.

Одобрена для публикации 28 августа 2020 г.

ОБ АВТОРЕ: **Ахад Самед Месризаде** — докторант кафедры архитектурные конструкции и реставрация памятников; **Азербайджанский архитектурно-строительный университет (ААСУ)**; Азербайджанская Республика, AZE-1073, г. Баку, ул. А. Султанова, д. 11; ahadirantabriz@gmail.com.

REFERENCES

1. *Babai Agdam F.* *Analysis of the use of suburban areas. Research: the city of Tabriz: Ph.D dissertation (Tabriz University)*. Tabriz, 2008. URL: <https://ganj-old.irandoc.ac.ir/articles/468484>

2. *Wassmer R.W.* Fiscalisation of land use, urban growth boundaries and non-central retail sprawl in the western united states. *Urban Studies*. 2002; 39(8):1307-1327. DOI: 10.1080/00420980220142655

3. *Smith D.D.* *Third world cities. 2nd edition*. Routledge, 1987. URL: <https://www.abebooks.com/book-search/title/third-world-city/author/drakakis-smith-david/>

4. *Siembab W.* *Smart sprawl strategy: because smart growth is too little too late*. PLANETIZEN.com, August, 2005. URL: <http://siembab.com/docs/smart-sprawl.pdf>

5. *Galster G., Hanson R., Ratcliffe M.R., Wolman H., Coleman S., Freihage J.* Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and measuring an elusive concept. *Housing Policy Debate*. 2001; 12(4):681-717. DOI: 10.1080/10511482.2001.9521426

6. *Ewing R.* Is Los Angeles-Style Sprawl Desirable? *Journal of the American Planning Association*. 1997; 63(1):107-126. DOI: 10.1080/01944369708975728

7. *Newman P.W.G.* Sustainability and cities: extending the metabolism model. *Landscape and Urban Planning*. 1999; 44(4):219-226. DOI: 10.1016/S0169-2046(99)00009-2

8. *Naghiyev N.* *Modern urban development of the Republic of Azerbaijan*. Baku, 2011; 303. (rus.).

9. *Gärbling T., Steg L.* Threats from car traffic to the quality of urban life. *Emerald Publishing*. 2007; 451-467. DOI: 10.1108/9780080481449-025

10. Greene D.L., Wegener M. Sustainable transport. *Journal of Transport Geography*. 1997; 5(3):177-190. DOI: 10.1016/S0966-6923(97)00013-6
11. Newman P., Kenworthy R.J. *Cities and Automobile Dependence: a Sourcebook*. USA, Gower Publishing Company, 1991. URL: <http://worldcat.org/isbn/0566070405>
12. Cervero R. Built environments and mode choice: toward a normative framework. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2002; 7(4):265-284. DOI: 10.1016/S1361-9209(01)00024-4
13. Cranea R., Crepeaub R. Does neighborhood design influence travel? A behavioral analysis of travel diary and GIS data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 1998; 3(4):225-238. DOI: 10.1016/S1361-9209(98)00001-7
14. Litman T. *Land Use Impacts on Transport How Land Use Factors Affect Travel Behavior*. Canada, Victoria Transport Policy Institute, 2008; 25-64. URL: <https://www.researchgate.net/publication/237286191>
15. Jahan Shahlu L., Amini I. Urban planning and its role in the stability of urban transport. *Proceeding in VII conference on transport engineering and traffic in Iran. Transport and Traffic Department of Tehran. Tehran Municipality*. Iran, 2006; 7-15. URL: https://www.civilica.com/Paper-TTC07-TTC07_024.html
16. Kenworthy J., Laube B.F. Automobile dependence in cities: An international comparison of urban transport and land use patterns with implications for sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*. 1996; 16(4-6):279-308. DOI: 10.1016/S0195-9255(96)00023-6
17. Kenworthy J. Urban planning and transport paradigm shifts for cities of the post-petroleum age. *Journal of Urban Technology*. 2007; 14(2):47-70. DOI: 10.1080/10630730701531708
18. Te-Qi Dai, Feng-Jun Jin. Formation of Los Angeles's low density and high car dependence. *Journal of Chongqing University*. 2009; 8(1):25-31. URL: <http://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?DocID=16718224-200903-200906290014-200906290014-25-31>
19. Houpin S. *Urban mobility and sustainable development in the Mediterranean: Regional diagnostic outlook*. Sophia Antipolis, 2010. URL: http://planbleu.org/sites/default/files/publications/synthese_moburb_damas_en.pdf
20. Gottdiener M., Budd L. *Key Concepts in Urban Studies*. SAGE Publications Ltd, 2005. DOI: 10.4135/9781446279120
21. Peterson T.C., Owen T.W. Urban heat island assessment: Metadata are important. *Journal of Climate*. 2005; 2637-2646. DOI: 10.1175/JCLI3431.1
22. Farzandi M., Rezai Parjand H., Seyyid Nejad Golhatmi N. Determination of annual heat exchange point with gray system dependence analysis for Mashhad thermal islands. *Journal of Environmental Dangers*. 2014; 3(4):49-59. DOI: 10.22111/JNEH.2014.2468
23. Sham S. Urban climatology in Malaysia: An overview. *Energy and Buildings*. 1990; 15(1-2): 105-117. DOI: 10.1016/0378-7788(90)90121-X
24. Elsayed I. Mitigation of the Urban heat island of the city of Kuala Lumpur, Malaysia. *Middle-East Journal of Scientific Research*. 2012; 11(11):1602-1613. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2012.11.11.1590
25. Aliyev F. *International ecoenergy academy. Russian-Azerbaijan-English dictionary ecoenergy terms*. 2001; 187. URL: <http://ieecademy.org/?mdocs-file=1369>
26. Aliyev F., Aliyev F. *Microclimate of construction complex*. Baku, 2017; 240. URL: <http://ieecademy.org/?mdocs-file=1373>
27. Musevi Baigi M., Ashraf B., Farid H., Miyad Abadi Ameni A.R. Investigation of thermal islands of Mashhad with satellite images and Fractal theory. *Journal of Environmental Dangers*. 2013; 1(1):35-49. URL: https://www.civilica.com/Paper-JR_GEH-JR_GEH-1-1_003.html
28. Burney A.N. Socioeconomic development and electricity consumption A cross-country analysis using the random coefficient method. *Energy Economics*. 1995; 17(3):185-195. DOI: 10.1016/0140-9883(95)00012-J
29. Lenzena M., Wierb M., Cohenc C., Haya-mid H., Pachaurie S.H., Schaeffer R. A comparative multivariate analysis of household energy requirements in Australia, Brazil, Denmark, India and Japan. *Energy*. 2006; 31(2-3):181-207. DOI: 10.1016/j.energy.2005.01.009
30. Donald W.J. Urbanization and energy use in economic development. *The Energy Journal on JSTOR*. 1989; 10(4):29-44. URL: <https://www.jstor.org/stable/41322370>
31. Ganbari A. Investigation of the connection between energy consumption and urban development in Iran using the "ARDL" method. *Quarterly Journal of Energy Economics Studies*. 2012; 9(35):101-119. URL: <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=185671>

Received October 25, 2019.

Adopted in revised form on August 7, 2020.

Approved for publication on August 28, 2020.

BIONOTES: Ahad S. Mesrizade — doctoral student of Department of Architectural constructions and restoration of monuments; **Azerbaijan University of Architecture and Construction (AUAC)**; 11 A. Sultanov st., Baku, AZE-1073, Republic of Azerbaijan; ahadirantabriz@gmail.com.

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

УДК 624.04

DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1249-1261

Вероятностно-статистическое моделирование нагрузок и воздействий

К.В. Кургузов, И.К. Фоменко, Д.Д. Шубина

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Сегодня численные методы нашли широкое применение в практике строительства. Они позволяют без чрезмерных аналитических процедур выполнять и рассчитывать сложные нелинейные, многофакторные модели. Однако, как правило, самые сложные задачи, выполняемые в пространственной схеме с учетом физических, геометрических и прочих нелинейностей, выполняются в детерминированных постановках без анализа стохастической природы физических процессов. Это кажется особенно странным, учитывая, что численным методам хорошо поддается моделирование случайных процессов. С помощью численных вероятностно-статистических подходов (ВСП) возможно моделировать и учитывать различные пространственно-временные аспекты вероятностной природы нагрузок и воздействий, сопротивлений конструкционных систем, материалов и геологических сред. Даже самые продвинутые численные модели физических систем детерминированного характера являются всего лишь частным случаем вероятностно-статистического моделирования — они позволяют получить только одно значение (точку) на всем поле возможных реализаций, они не способны показать объективную, максимально полную картину вероятных исходов. Статья показывает пример выполнения численных вероятностно-статистических расчетов нагрузок и воздействий.

Методы исследования. В качестве вводных параметров были использованы материалы из различных источников: справочники, нормативная литература, результаты лабораторных испытаний, а также имеющиеся опытные данные. Основной расчет и анализ интегральной функции нагрузок выполнялся с помощью численного метода вероятностно-статистического моделирования Монте-Карло, при использовании различных теоретических (статистических) и эмпирических распределений, с последующей количественной оценкой расчетных значений нагрузки при различных значениях доверительной вероятности.

Результаты. В работе показан пример вероятностно-статистического расчета (определения) интегральной функции нагрузок и воздействий с учетом различной природы нагрузок при разнообразном распределении исходных параметров, включая эмпирические распределения. Показана высокая важность точного описания исходных распределений случайной величины для определения достоверного расчетного значения нагрузок.

Выводы. Вероятностно-статистические подходы имеют возможность объективно оценивать работоспособность строительных систем на базе количественного учета вероятностной природы факторов нагрузок. Данные подходы несут огромный потенциал и повышение уровня надежности зданий и сооружений, и увеличение экономической эффективности строительных проектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вероятностно-статистическое моделирование, функции распределения, нагрузки и воздействия, оценка надежности, функция работоспособности, метод Монте-Карло

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Кургузов К.В., Фоменко И.К., Шубина Д.Д. Вероятностно-статистическое моделирование нагрузок и воздействий // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 9. С. 1249–1261. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1249-1261

Probabilistic and statistical modeling of loads and forces

Konstantin V. Kurguzov, Igor K. Fomenko, Daria D. Shubina

Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI); Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. At present, numerical methods enjoy widespread use in construction practice. They enable performing and analyzing complex non-linear, multi-factor models without excessive analytical procedures. However, as a rule, the most complex tasks, performed in a three-dimensional setting with account taken of physical, geometric and other nonlinearities, are performed in deterministic formulations without the analysis of the stochastic nature of physical processes. This seems particularly strange, given that numerical methods are well-suited for modeling stochastic processes. Numerical probabilistic and statistical approaches (PSA) can be applied to simulate and take into consideration various spatiotemporal aspects of the probabilistic nature of loads and forces, structural system resistances, materials and geological terrains. Even the most advanced numerical models of deterministic physical systems are merely a specific case of probabilistic and statistical modeling: they enable obtaining only one value (point) on the whole field of possible implementations, being unable to demon-

strate an objective and exhaustive variety of probable outcomes. This article presents a case study of numerical probabilistic and statistical analyses of loads and forces.

Methods of research. Materials from different sources, such as reference books, regulatory documents, laboratory test results, as well as available experimental data, were used as input parameters. The principal calculation and analysis of the integral function of loads was performed using the Monte Carlo numerical method of probabilistic and statistical modeling and various theoretical (statistical) and empirical distributions, followed by the quantitative assessment of design loads at various confidence probability values.

Results. This study provides an example of the probabilistic and statistical calculation (determination) of the integral function of loads and forces with account taken of different origins of loads and varied input parameter distribution patterns, including empirical distributions. It has proven great importance of accurate description of initial distributions of a random value for the determination of reliable design load values.

Conclusions. Probabilistic and statistical approaches have the ability to objectively assess the performance of structural systems based on the quantitative assessment of the probabilistic nature of load factors. These approaches have huge potential for increasing the reliability of buildings and structures and the cost effectiveness of construction projects.

KEYWORDS: probabilistic and statistical modeling, distribution functions, loads and forces, reliability assessment, performance function, the Monte Carlo method

FOR CITATION: Kurguzov K.V., Fomenko I.K., Shubina D.D. Probabilistic and statistical modeling of loads and forces. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(9):1249-1261. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1249-1261 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Надежность конструктивных и геотехнических систем, а также отдельных элементов невозможно оценить, пренебрегая вероятностными законами распределения внешних нагрузок и воздействий [1, 2, с. 72–75]. Если надежность конструкций, работающих под статической нагрузкой в нормальных условиях, может быть очень высокой, то обеспеченность тех же параметров системы в условиях агрессивной среды или сейсмического воздействия может быть существенно снижена. Параметры функции нагрузок и воздействий зависят от природы воздействия, времени, места расположения и от других факторов, которые по своей сути являются случайными величинами. Это означает, что в действительности функции нагрузок и воздействий представляют собой сложные стохастические процессы, постоянно изменяющиеся в структурах многомерных случайных полей. Описание, моделирование и расчет таких процессов являются комплексной задачей, которая, очевидно, не может быть решена без развития численных методов. Сложность априорной оценки и анализа является характерной особенностью при моделировании случайных функций нагрузок и воздействий, т.е. если элементы стохастических функций сопротивления (например, физико-механические параметры) могут быть подвергнуты непосредственным исследованиям (полевым, лабораторным) и даже технологическому проектированию (металлургия, петрургия и пр.), то с вероятностными функциями нагрузок и воздействий зачастую такой определенности просто нет. Поэтому данные функции по праву могут считаться наиболее существенным фактором неопределенности изучаемых конструктивных и геотехнических систем [3–5]. Сильная зависимость конечного расчетного результата от правильного учета многопараметрических функций воздействий предопределяет

особую необходимость изучения стохастической природы нагрузок и воздействий [6–8].

Одной из существенных проблем использования стохастических параметров нагрузок и воздействий является чрезвычайно малое количество наблюдений и широкий разброс исходной информации как о параметрах нагрузок, так и об их вероятностной природе. Переменные нагрузки и воздействия могут являться дискретными, непрерывными или смешанными процессами со сложными эмпирическими функциями распределений (рис. 1) [9, 10]. Нагрузки и воздействия, которые могут быть дискретными и непрерывными, характеризуются случайной природой, описание которой может быть произведено с помощью различных аспектов и количественных параметров, которые в конечном счете могут быть сведены к трем базовым кластерам функций распределения случайных величин: временные, пространственные функции и функции интенсивности [11, 12].

1. Временные функции распределения направлены на определение моментов возникновения и продолжительности воздействий. Данные функции позволяют решать краевые задачи по комбинациям различных воздействий, т.е. определять функции сочетаний.

2. Пространственные функции позволяют определять геометрические координаты нагрузок и воздействий.

3. Распределение интенсивности нагрузок и воздействий также имеет стохастическую природу, которая может быть описана различными линейными и нелинейными по форме функциями.

Существенным фактором в исследованиях нагрузок и воздействий является происхождение (природа) воздействий. При изучении кратковременных (полезных) нагрузок установлено, что значения кратковременных нагрузок изменяются не только от назначения помещения (которое, кстати, тоже может не быть окончательно определено на этапе проектирования и изменяться в период эксплуатации), но также и от количества находящихся в нем

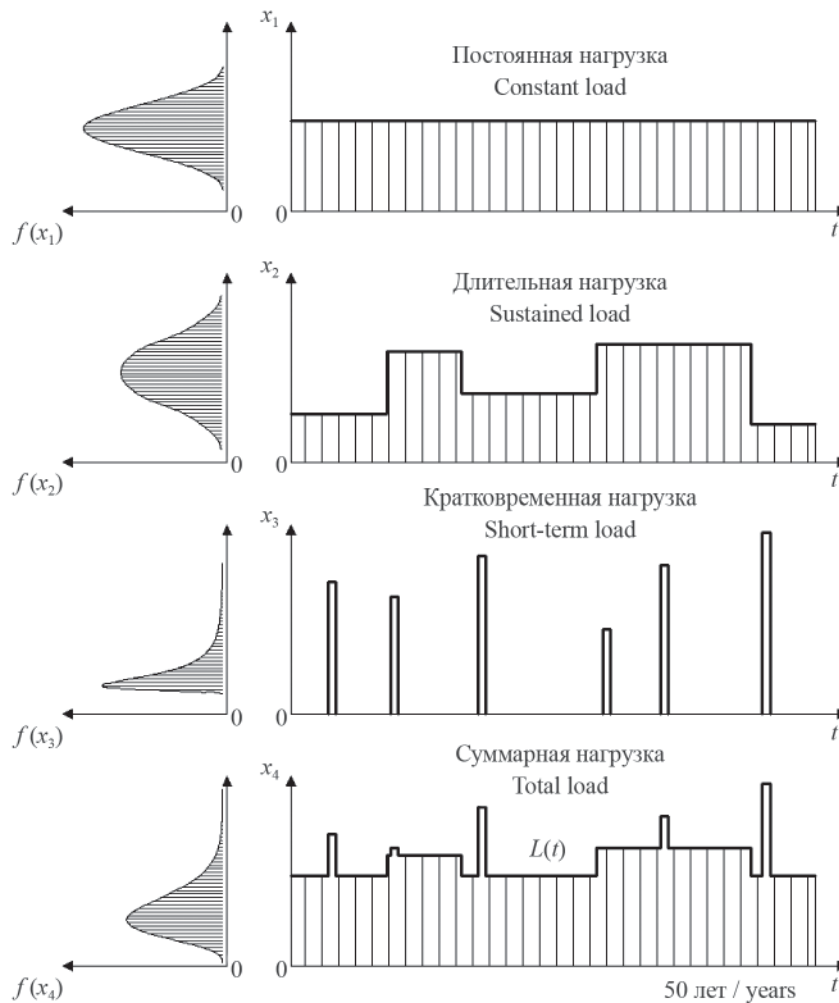


Рис. 1. Динамическая модель суммарных нагрузок и воздействий $L(t)$

Fig. 1. Dynamic model of total loads and forces $L(t)$

людей, мебели, оборудования, от сроков эксплуатации помещений (количество резких перепадов интенсивности нагрузки зависит от рассматриваемого диапазона времени), от размера помещения (см. график), от других случайных факторов (случайное скопление людей по поводу праздников, годовщин и пр.). Интенсивность длительных нагрузок может существенно изменяться в периоды ремонтов или переоборудования производств. Постоянные нагрузки существенно зависят от качества используемых материалов, а также культуры производства работ.

Например, плотность железобетонных конструкций, изготовленных на заводах, имеет меньшие значения изменчивости по сравнению с плотностью конструкций, изготовленных на строительной площадке.

Вероятность возникновения того или иного воздействия всегда связана с функцией времени (рис. 2) [13]. Например, длина отрезка времени будет влиять на количественное значение вероятности

появления воздействия, т.е. физические процессы окружающей среды (скорость воздушных масс, градиент температур, мощность осадков, колебания подземных уровней грунтовых вод и пр.) имеют различные значения вероятности возникновения на различных отрезках времени.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Условием применения вероятностно-статистического подхода в расчете надежности систем является функциональное описание и сопоставление процессов сопротивления и нагружения систем. Результатом сопоставления этих функций является определение интегральной функции работоспособности. При этом категорически необходимо рассмотрение всех нагрузок и воздействий через природу случайных процессов. То есть вероятностно-статистические расчеты надежности систем основываются не на частных (детерминированных) значениях нагрузок, а на дискретных или непрерывных функциях распределений случайных величин.

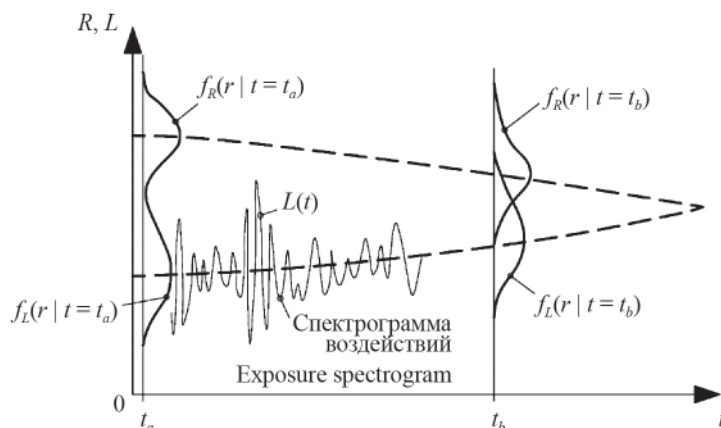


Рис. 2. Динамическая модель функции работоспособности системы

Fig. 2. Dynamic model of the system performance function

Целью стохастического расчета нагрузок является определение интегральной функции распределения нагрузок и воздействий, а также ее вероятностных (расчетных) параметров. При этом возможно решение прикладных задач, например, по оценке (калибровке) коэффициентов надежности, для сопоставления и анализа и для дальнейшего применения в рамках теории предельных состояний. Данному расчетному анализу подлежат нагрузки от веса типового перекрытия и конструкции пола в многоэтажном здании, принятые в одном из проектов авторов. В данной работе было выполнено три типа расчета нагрузок:

1) детерминированный расчет (сбор) нагрузок в соответствии с требованиями действующих нор-

мативных документов (СП 20.13330¹), в рамках концепции расчета конструкций методами предельных состояний (табл. 1);

2) вероятностно-статистический расчет нагрузок в предположении распределения случайных величин по нормальному (гауссову) закону, с учетом справочных исходных вероятностно-статистических параметров;

3) вероятностно-статистический расчет нагрузок с учетом различных эмпирических распределений случайных величин на основе данных лабораторных исследований и других опытных данных.

В табл. 1 представлен сбор нормативных и расчетных значений нагрузок в соответствии

¹ СП 20.13330–2016. Нагрузки и воздействия.

Табл. 1. Детерминированные и стохастические параметры исходных нагрузок

Table 1. Deterministic and stochastic initial load parameters

Расположение Location	Наименование нагрузки Load type	Толщина элемента, м Element thickness, m	Плотность материала, кН/м ³ Material density, kN/m ³	Нормативная нагрузка, кН/м ² Standard load, kN/m ²	Стандартное отклонение σ Standard deviation σ	Коэффициент вариации V Coefficient of variation V	Коэффициент надежности по нагрузке γ _t Load safety factor γ _t	Расчетная нагрузка, кН/м ² Design load, kN/m ²
Ж/б перекрытие Reinforced concrete floor	Постоянные нагрузки / Constant loads							
	Керамическая плитка на клею Glued ceramic tile	0,015	20	0,3	0,0015	0,05	1,2	0,360
	Экструдированный пенополистирол Extruded polystyrene foam	0,04	0,4	0,016	0,0048	0,3	1,2	0,019
	Стяжка с разуклонкой Sloping screed	0,04	18	0,72	0,065	0,09	1,1	0,792

Окончание табл. 1 / End of Table 1

Расположение Location	Наименование нагрузки Load type	Толщина элемента, м Element thickness, m	Плотность материала, кН/м ³ Material density, kN/m ³	Нормативная нагрузка, кН/м ² Standard load, kN/m ²	Стандартное отклонение σ Standard deviation σ	Коэффициент вариации V Coefficient of variation V	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f Load safety factor γ_f	Расчетная нагрузка, кН/м ² Design load, kN/m ²
Ж/б перекрытие Reinforced concrete floor	Ж/б плита из бетона В25 Reinforced concrete slab, B25 concrete	0,2	25	5,0	0,4	0,08	1,1	5,500
	Гипсокартонные перегородки $t = 125$ мм Gypsum cardboard partitions $t = 125$ mm			0,5	0,1	0,2	1,3	0,650
	Временные нагрузки / Temporary loads							
	Равномерно распределенная Evenly distributed			1,5	0,6	0,4	1,3	1,950
	Итого Total			8,036				9,271

с СП 20.13330, а также параметры для выполнения вероятностно-статистического расчета. Исходные стохастические параметры нагрузок принимались по данным справочно-нормативной литературы, а также по данным научных источников.

Коэффициент вариации бетона по плотности составляет 7–9 % (ГОСТ 27005–2014).

По данным ГОСТ 7025–91 коэффициент вариации плотности керамических изделий в среднем составляет 5 %.

Вид распределения полезной нагрузки мало отличается от логнормального, а коэффициент вариации V имеет широкий размах значений и сильно зависит от назначения эксплуатируемого помещения [14, 9, 15]:

- коммерческого назначения (банки, торговые центры, больницы и пр.): V от 0,4 до более 1,0;
- офисного назначения: V от 0,8 до более 1,0;
- гостиницы: V от 0,33 до более 1,0;
- жилого назначения: $V > 1,0$.

Нагрузку от собственного веса конструкций можно разделить на нагрузку от веса несущих конструкций, которая не зависит от времени и может быть представлена случайной величиной, и нагрузку от веса ненесущих элементов, подверженную изменениям в течение срока службы. Период обновления для этой нагрузки может составлять раз в 10–50 лет. Возможными причинами неопределенности в предсказании нагрузки от собственного веса могут быть разбросы плотности материалов, отклонения геометрических размеров, неопределенность окончательного выбора материала, дополнительные

нагрузки от соединений и креплений, последующие перестройки и реконструкции, влияние окружающей среды (например, на содержание воды) [16, с. 40–45].

Стохастические расчеты нагрузок и воздействий проводились численным методом вероятностно-статистического моделирования, основанном на методе Монте-Карло. Численная методика Монте-Карло позволяет получать решение математических или физических задач на основе моделирования случайных величин и построения статистических оценок, а также позволяет обрабатывать возможные (вероятные) процессы или результаты при использовании различных методов генерации случайных чисел, которые потом переносятся на реальную модель [17–19].

Данные расчеты выполнялись с учетом следующих предположений:

- 1) нормального закона распределения случайных величин;
- 2) поля случайных величин стационарны и статистически однородны.

В процессе расчетов на основе исходных вероятностно-статистических параметров производилось моделирование эмпирических распределений (рис. 3–5) с последующим интегрированием и построением итогового распределения. На основе полученного распределения выполнялась статистическая аппроксимация и рассчитывались интегральные вероятностно-статистические параметры (рис. 6).

Расчетные вероятностно-статистические параметры представлены в табл. 2.

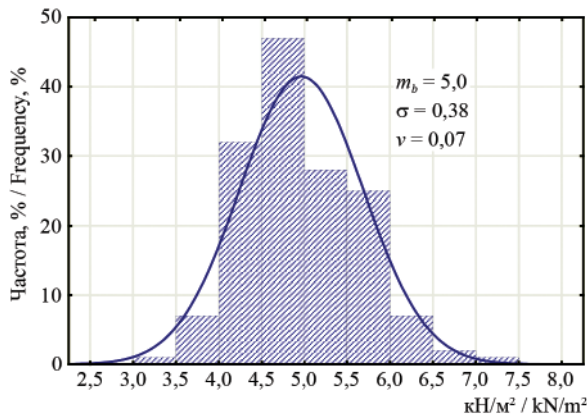


Рис. 3. Функциональная плотность нормального распределения нагрузки от веса ж/б плиты
Fig. 3. Function density of the normal distribution of the weight load induced by a reinforced concrete slab

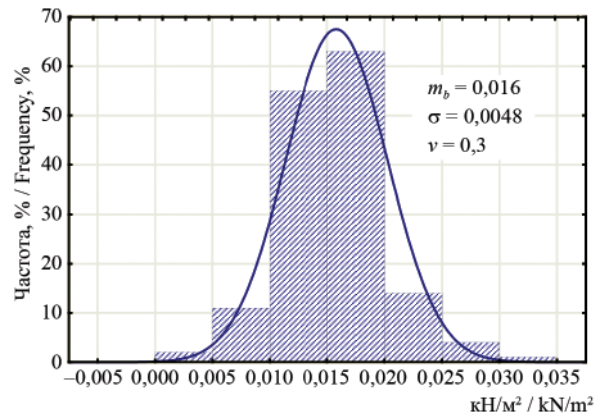


Рис. 5. Функциональная плотность нормального распределения нагрузки от пенополистирола
Fig. 5. Function density of the normal distribution of the load induced by polystyrene foam

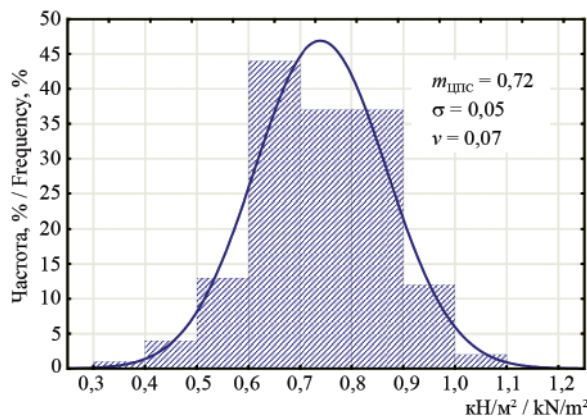


Рис. 4. Функциональная плотность нормального распределения нагрузки от ц.п. стяжки
Fig. 4. Function density of the normal distribution of the load induced by a cement sand screed

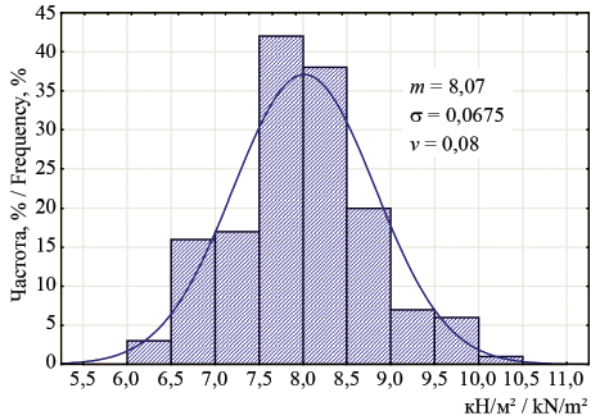


Рис. 6. Функциональная плотность нормального распределения суммарных нагрузок
Fig. 6. Function density of the normal distribution of total loads

Табл. 2. Описательная статистика результатов расчета численным методом

Table 2. Descriptive breakdown of calculation results obtained using the numerical method

Наименование нагрузки Load type	Размер реализации Implementation size	Среднее значение, кН/м ² Average value, kN/m ²	Минимальное значение, кН/м ² Minimum value, kN/m ²	Максимальное значение, кН/м ² Maximum value, kN/m ²	Дисперсия σ^2 Dispersion σ^2	Стандартное отклонение σ Standard deviation σ	Коэффициент вариации V Coefficient of variation V	Стандартная ошибка Standard error
Ж/б плита / Reinforced concrete slab	150	5,0187	3,8908	6,0969	0,1449	0,3807	7,5847	0,0311
Стяжка / Screed		0,7196	0,5658	0,8490	0,0031	0,0558	7,7538	0,0104
Пенополистирол / Polystyrene foam		0,0157	0,0023	0,0304	0,0000	0,0044	28,230	0,0004

Окончание табл. 2 / End of Table 2

Наименование нагрузки Load type	Размер реализации Implementation size	Среднее значение, кН/м ² Average value, kN/m ²	Минимальное значение, кН/м ² Minimum value, kN/m ²	Максимальное значение, кН/м ² Maximum value, kN/m ²	Дисперсия σ^2 Dispersion σ^2	Стандартное отклонение σ Standard deviation σ	Коэффициент вариации V Coefficient of variation V	Стандартная ошибка Standard error
Плитка / Tile	150	0,3045	0,1715	0,4481	0,0034	0,0581	19,093	0,0047
Перегородки / Partitions		0,5060	0,2759	0,8234	0,0095	0,0973	19,233	0,0079
Полезная нагрузка / Imposed load		1,5057	-0,2531	2,8260	0,3217	0,5672	37,668	0,0304
Суммарные нагрузки / Total loads		8,0701	5,7639	9,7658	0,4559	0,6752	8,3666	0,0659

Табл. 3. Расчетные значения нагрузок в зависимости от доверительного уровня вероятности**Table 3.** Design load values based on confidence level

Доверительная вероятность, % / Confidence probability, %	85,00	90,00	95,00	99,00	99,99
Коэффициент доверия β / Confidence coefficient β	1,439	1,645	1,960	2,576	3,300
Максимальные (расчетные) значения нагрузок, кН/м ² Maximum (design) load values, kN/m ²	8,769	8,935	9,180	9,640	10,581

Получив стохастические характеристики суммарных нагрузок, мы рассчитали математическое ожидание максимального значения суммарной нагрузки (расчетные значения) в зависимости от доверительного уровня вероятности (табл. 3).

Таким образом, очевидно, что расчетное значение нагрузок напрямую зависит от уровня доверительной вероятности. В практических расчетах уровни доверительной вероятности могут быть приняты исходя из требований конкретного проекта, уровня ответственности проектируемого сооружения или допустимых уровней социально-экономических рисков.

Широкая популярность нормального распределения с относительно простой гауссовой математикой не может являться основанием для его повсеместного применения. Большинство случайных процессов в природе не является однородным, и, соответственно, их распределения не могут быть аппроксимированы гауссовой функцией. Особенно это касается небольших по своим объемам статистических наблюдений, когда не находит свое применение центральная теорема [20–22]. К тому же широко известна особенность нормального распределения принимать отрицательные значения случайных величин (например, см. столбец 4 в табл. 2), что противоречит природе многих физических параметров. В этом случае было бы более корректным использовать различные непрерывные теоретические функции — экспоненциальную, гамму, Вэйбулла, Релея,

логнормальную, равномерную и пр. Характер конструктивной системы здания, размеры помещений, условия эксплуатации влияют на функции распределения кратковременных нагрузок и воздействий. Например, очевидно, что функции распределения для офисных помещений кабинетного типа и помещений с открытой планировкой (open-spэйс) будут различны. Однако аналитические взаимодействия различных по природе функций являются весьма затруднительными и сводятся, как правило, к математическим процессам стандартизации и нормализации, что существенно отражается на точности конечного решения. К тому же в этом случае в процессе расчетов неизбежно накопление погрешности за счет промежуточных аппроксимаций. Таким образом, более целесообразным представляется использование эмпирических (полимодальных) функций распределений случайных величин, что достигается за счет применения численных методов [23, 24].

Возможность применения различных теоретических и эмпирических функций в практических расчетах показана в следующем примере.

Здесь для расчета функции нагрузок и воздействий были использованы исходные вероятностно-статистические параметры плотности материалов, полученные в результате лабораторных испытаний для тяжелого бетона (класс прочности В25), для цементно-песчаного раствора, используемого для устройства стяжки для полов, а также экструдированного пенополистирола. По результатам лабо-

раторных испытаний выполнялась статистическая обработка, результаты которой приведены в табл. 5. Функции распределения результатов испытаний в целом соответствуют логнормальному распределению. Необходимо отметить, что результаты испытаний показали более однородные структуры тяжелого бетона и ц/п раствора по сравнению со справочными данными. Также, как ожидалось, фактические значения нагрузок от веса конструкций оказались ниже нормативных значений, принимаемых в практических расчетах по СП 20.1333. Исходные расчетные параметры для керамической плитки и веса перегородок принимались по справочным данным.

Для анализа вероятностной природы полезных нагрузок неоднократно предпринимались специаль-

ные обследования, имевшие целью уточнение значений полезных нагрузок в жилых, административных и производственных зданиях. Так, по данным одной из таких работ [15], где было обследовано 2652 помещения, были приняты вероятностно-статистические параметры с логнормальным распределением (рис. 7). Здесь необходимо отметить, что некорректная аппроксимация статистического распределения приводит к существенному искажению расчетных значений. В случае применения различных функций для аппроксимации данного распределения расчетные значения нагрузки при различных доверительных интервалах изменяются в значимых пределах (табл. 4). Для проверки гипотезы о соответствии статистического распределения выбранному применялся критерий согласия Пирсона.

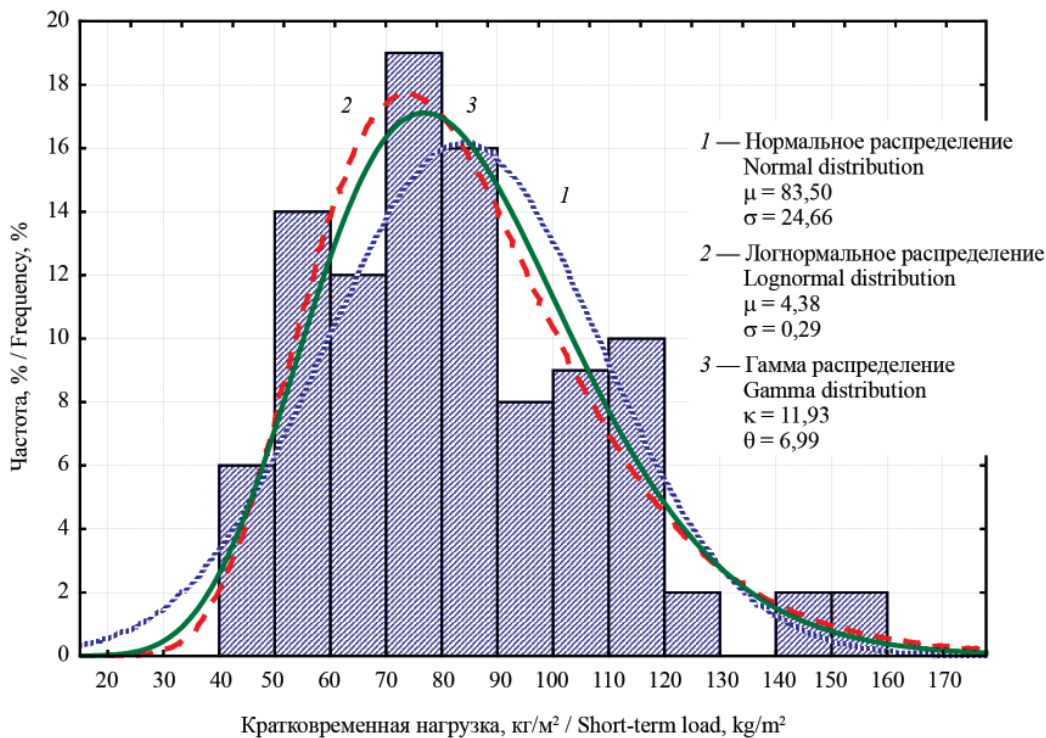


Рис. 7. Различные аппроксимации распределения кратковременной нагрузки

Fig. 7. Various approximations of short-term load distribution

Табл. 4. Расчетные значения кратковременной нагрузки при различных аппроксимациях, кг/м²

Table 4. Various approximations of design values of the short-term load, kg/m²

Функция распределения Distribution function	Критерий согласия Пирсона χ^2 Pearson's chi-squared test χ^2	Степени свободы df Degrees of freedom df	Вероятность p Probability p	Уровень доверительной вероятности Confidence level		
				95 %	99,0 %	99,99 %
Нормальная / Normal	10,19213	6	0,11679	124,07	140,88	175,24
Логнормальная / Lognormal	7,76795		0,25560	129,79	158,59	238,83
Гамма / Gamma	7,24644		0,25560	126,81	149,73	204,33

Табл. 5. Статистическая обработка данных лабораторных испытаний
Table 5. Results of statistical analysis of laboratory tests

Наименование материала Material type	Функция распределения Distribution function			Дисперсия σ^2	Стандартное отклонение σ	Коэффициент вариации V	Минимальное значение, кг/м ³ Minimum value, kg/m ³	Максимальное значение, кг/м ³ Maximum value, kg/m ³	Среднее значение μ , кг/м ³ Average μ value, kg/m ³	Расчетное значение при доверительной вероятности, кг/м ³ Design value in case of confidence probability, kg/m ³		
	Наименование функции Function	Параметры распределения Distribution parameters								95,00 %	99,00 %	99,99 %
		μ	σ									
Тяжелый бетон / Heavy concrete	Логнормальная / Lognormal	7,7749	0,0267	2834,06	53,23	2,23	2270	2454	2380	2470	2508	2588
Легкий бетон (стяжка пола) Lightweight concrete (floor screed)	Логнормальная / Lognormal	7,4929	0,0146	690,66	26,28	1,46	1766	1822	1795	1838	1857	1895
Пенополистирол ПСБ-25 / PSB-25 polystyrene foam	Логнормальная / Lognormal	2,9636	0,0213	0,16	0,41	2,12	18,88	19,82	19,37	20,0	20,3	20,9

Табл. 6. Исходные параметры для вероятностно-статистического расчета
Table 6. Input parameters for probabilistic and statistical analysis

Наименование материала Material type	Функция распределения Distribution function			Дисперсия σ^2	Стандартное отклонение σ	Коэффициент вариации V	Минимальное значение, кг/м ³ Minimum value, kg/m ³	Максимальное значение, кг/м ³ Maximum value, kg/m ³	Среднее значение μ , кг/м ³ Average μ value, kg/m ³	Расчетное значение при доверительной вероятности, кг/м ³ Design value in case of confidence probability, kg/m ³		
	Наименование функции Function	Параметры распределения Distribution parameters								95,00 %	99,00 %	99,99 %
		μ	σ									
Ж/б плита перекрытия ($t = 0,2$ м) Reinforced concrete floor ($t = 0,2$ m) *	Логнормальная / Lognormal	6,1654	0,0267	163,33	12,78	2,68	452,58	511,01	476,17	497,36	506,49	525,68
Теплозвукоизоляция ($t = 0,04$ м) Thermal and sound insulation ($t = 0,04$ m) *	Логнормальная / Lognormal	0,2542	0,0211	0,00026	0,016	2,10	0,73	0,81	0,77	1,33	1,35	1,39
Стяжка пола ($t = 0,04$ м) Floor screed ($t = 0,04$ m) *	Логнормальная / Lognormal	4,2747	0,0149	1,13	1,06	1,48	69,41	74,62	71,86	73,64	74,39	75,95
Керамическая плитка / Ceramic tile **	Гаусса / Gauss	—	—	33,75	5,81	19,09	17,15	44,81	30,45	40,00	43,96	52,05
Перегородки / Partitions **	Гаусса / Gauss	—	—	94,67	9,73	19,23	27,59	82,34	50,60	66,60	73,23	86,78
Полезная нагрузка / Imposed load ***	Гамма / Gamma	11,9358	6,996	608,46	24,66	29,54	40,75	154,37	83,50	126,81	149,73	204,33

Примечания: * По данным лабораторных испытаний. ** По справочным данным. *** Опытные данные.
Notes: * Based on laboratory test data. ** Based on reference data. *** Experiment data [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты численных расчетов интегральной функции распределения случайной величины нагрузок на плиту перекрытия представлены на графике (рис. 8). Данная плотность распределения представляет собой главный вектор случайной величины нагрузки от перекрытия, который учитывает случайную природу кратковременной нагрузки, нагрузки от веса ж/б, от веса ц.п. стяжки и других компонент конструкций пола. Из данных расчета видно, что среднее вероятное значение нагрузки $\mu = 715,9 \text{ кг/м}^2$ (табл. 7), при этом нормативное значение при 95%-м

уровне доверительной вероятности составляет порядка $N_p = 768,6 \text{ кг/м}^2$. Расчетное же значение в данном случае напрямую зависит от требований к доверительному уровню и может достигать $N_p = 843,21 \text{ кг/м}^2$ при $p = 99,99 \%$. Таким образом, в случае необходимости применения коэффициентного подхода коэффициент надежности по нагрузке составил бы $\gamma_n = 843,21/768,6 = 1,09$.

Высокая однородность исходных данных (коэффициент вариации определяющих воздействий не превышает 3 %) и близкий характер распределений к теоретическому гауссову распределению

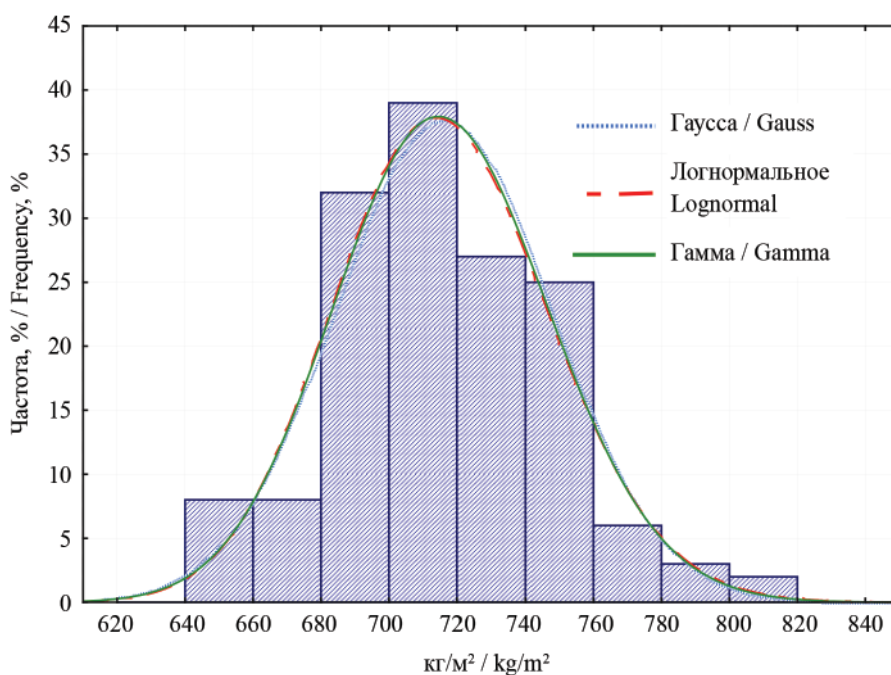


Рис. 8. Аппроксимация интегрального распределения с помощью функций Гаусса, логнормальной и гамма-функции
Fig. 8. Approximation of integral distribution using Gauss, lognormal and gamma functions

Табл. 7. Результаты вероятностно-статистического расчета
Table 7. Probabilistic and statistical analysis results

Аппроксимирующая функция распределения Approximating distribution function		Критерии согласия Chi-squared test		Стандартное отклонение σ Standard deviation σ	Коэффициент вариации V Coefficient of variation V	Минимальное значение, кг/м^2 Minimum value, kg/m^2	Максимальное значение, кг/м^2 Maximum value, kg/m^2	Среднее значение μ , кг/м^2 Average μ value, kg/m^2	Расчетное значение при доверительной вероятности, кг/м^2 Design value in case of confidence probability, kg/m^2		
Наименование функции Function	Параметры распределения Distribution parameters	χ^2	$K-S$						95,00 %	99,00 %	99,99 %
Гаусса / Gausse	—	—	6,32	0,052	31,77	643,5	813,4	715,9	768,20	789,85	834,10
Гамма / Gamma	11,9358	6,996	6,77	0,051					768,66	791,44	839,37
Логнормальная Lognormal	6,5726	0,044	7,01	0,053					769,24	792,80	843,21

предопределили результаты интегрального распределения. Результаты аппроксимации интегрального распределения с помощью функций гамма, логнормальной и гаусса показали близкие значения критериев согласия. Определение расчетных значений нагрузок при различных уровнях доверительной вероятности (табл. 7) также показало сопоставимые значения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам данного исследования можно сделать следующие выводы.

1. В статье показана возможность учета и интегрирования различных функций распределений, включая эмпирические, с помощью численных методов вероятностно-статистического моделирования.

2. Общий коэффициент надежности по нагрузке при доверительной вероятности 99,99 % по первому стохастическому расчету составил $\gamma_n = 1,31$, по второму расчету $\gamma_n = 1,09$.

3. Важнейшую роль в вероятностно-статистических расчетах играют исходные параметры. Использование справочных данных и грубая аппроксимация различных распределений одной функцией Гаусса увеличило расчетные значения нагрузок более чем на 20 % ($N_p^2 = 1058 \text{ кг/м}^2 > N_p^3 = 843,2 \text{ кг/м}^2$).

4. Действующие нормативные документы допускают применение вероятностно-статистических расчетов (ГОСТ Р 54257), однако в строительной практике наиболее популярным является детерминированный расчет (сбор) нагрузок и воздействий, основанный на концепции предельных состояний. Коэффициентный подход в расчете нагрузок не в состоянии учесть отдельные, уникальные аспекты различных объектов строительства, в том числе различную случайную природу многочисленных факторов, влияющих на конечное значение. Детерминированные расчеты являются частным случаем вероятностно-статистических расчетов, так как даже при учете многокомпонентных факторов в пространственных, нелинейных постановках они позволяют получить лишь единственное, точечное значение, а не представлять целостную картину вероятных значений — картину распределения многомерных полей векторов случайных величин. С развитием цифровых технологий, с возрастающими возможностями численных расчетов появляется острая необходимость в развитии стохастических подходов в строительстве на базе математической статистики, теории вероятности, теории надежности и других дисциплин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болотин В.В. Статистические методы в строительной механике. М. : Изд-во литературы по строительству, 1965. 280 с.
2. Пишеничкин А.П., Гараган Б.А. Исследование статистических характеристик внешних воздействий на здания в г. Волгограде // Надежность и долговечность строительных конструкций : сб. науч. тр. Волгоград, 1974. С. 72–75.
3. Кургузов К.В., Фоменко И.К., Сироткина О.Н. Вероятностно-статистические подходы при оценке неопределенности литотехнических систем // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2020. № 2. С. 65–74. DOI: 10.31857/S0869780920020071
4. Russell C. Probabilistic methods applied to geotechnical engineering. Paris, 2005. URL: <https://ru.scribd.com/document/428302702/PEM-Method-Geotech>
5. Einstein G.B., Baecher H.H. Probabilistic and statistical methods in engineering geology // Rock Mechanics and Rock Engineering. 1983. Vol. 16. Pp. 39–72. DOI: 10.1007/BF01030217
6. Ellingwood B., Galambos T.V., MacGregor J.G., Cornell C.A. Development of a probability based load criterion for american national standard A58. Washington : U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1980. 222 p. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nbsspecialpublication577.pdf>
7. Santos N.D. dos, Siqueira G.Y., Vieira Junior L.C.M. A stochastic approach for the wind load effect on steel structures // Rem: Revista Escola de Minas. 2016. Vol. 69. No. 2. Pp. 137–145. DOI: 10.1590/0370-44672015690203
8. Hui Y., Tamura Y., Yang Q. Estimation of extreme wind load on structures and claddings // Journal of Engineering Mechanics. 2017. Vol. 143. No. 9. DOI: 10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001304
9. Honfi D. Serviceability floor loads // Structural safety. 2014. Vol. 50. Pp. 27–38. DOI: 10.1016/j.strusafe.2014.03.004
10. Шнеме Г. Надежность несущих строительных конструкций. М. : Стройиздат, 1994. 288 с.
11. Melchers R.E., Beck A.T. Structural reliability analysis and prediction. 3rd ed. New Jersey : John Wiley & Sons Ltd, 2018. 515 p.
12. Fenton G.A., Griffith D.V. Risk assessment in geotechnical engineering. New Jersey : WILEY, 2008. 480 p.
13. Кургузов К.В. Стохастическое моделирование литотехнических систем : дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2019. URL: <https://www.dissercat.>

com/content/stokhasticheskoe-modelirovanie-litotekhnicheskikh-sistem

14. Corotis R.B., Tsay W.-Y. Probabilistic load duration model for live loads // *Journal of Structural Engineering*. 1983. Vol. 109. No. 4. Pp. 859–874. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1983)109:4(859)

15. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашицкий В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. М. : Изд-во АСВ, 2006. 476 с.

16. Городецкий Б.Л., Котлов Г.Г., Соколкин А.Ф. Статистические исследования постоянных нагрузок от собственной массы покрытий в промышленных зданиях // *Проблемы надежности в строительном проектировании* : к конф. в г. Свердловске (окт., 1972) / под общ. ред. канд. техн. наук С.А. Тимашева. Свердловск, 1972. С. 40–45.

17. Жданов Э.Р., Маликов Р.Ф., Хисматуллин Р.К. Компьютерное моделирование физических явлений и процессов методом Монте-Карло. Уфа, 2005. 124 с.

18. Михайлов Г.А., Войтишек А.В. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло. М. : Издательский центр «Академия», 2006. 366 с.

19. Биндер К., Хеерман Д.В. Моделирование методом Монте-Карло в статистической физике : Введение / пер. с англ. В.Н. Задкова. М. : Физматлит, 1995. 141 с.

20. Земцов В.М., Земцова И.В. Элементы теории вероятностей и математической статистики. М. : Изд-во АСВ, 2013. 545 с.

21. Ватутин В.А., Ивченко Г.И., Медведев Ю.И., Чистяков В.П. Теория вероятностей и математическая статистика. 4-е изд. испр. М. : ЛЕНАНД, 2015. 384 с.

22. Marques de Sa J.P. Applied statistics using SPSS, Statistica, Matlab and R. New-York : Springer, 2007. DOI: 10.1007/978-3-540-71972-4

23. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М. : Стройиздат, 1978. 239 с.

24. Lauterbach S., Fina M., Wagner W. Influence of stochastic geometric imperfections on the load-carrying behaviour of thin-walled structures using constrained random fields // *Computational Mechanics*. 2018. Vol. 62. No. 5. Pp. 1107–1125. DOI: 10.1007/s00466-018-1554-0

Поступила в редакцию 16 июня 2020 г.

Принята в доработанном виде 6 августа 2020 г.

Одобрена для публикации 28 августа 2020 г.

ОБ АВТОРАХ: **Константин Владимирович Кургузов** — кандидат геолого-минералогических наук, инженер-проектировщик; **Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ)**; 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; SPIN-код: 8725-6560, ORCID: 0000-0001-7220-4086; kurgusov@yandex.ru;

Игорь Константинович Фоменко — профессор, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной геологии; **Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ)**; 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; РИНЦ ID: 63706, Scopus: 56975492900, ResearcherID: L-5467-2016, ORCID: 0000-0003-2318-6015; ifolga@gmail.com;

Дарья Дмитриевна Шубина — старший преподаватель кафедры инженерной геологии; **Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ)**; 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; РИНЦ ID: 942206, Scopus: 57194526139, ORCID: 0000 0003 2161 2500; ddshubina@gmail.com.

REFERENCES

1. Bolotin V.V. *Statistical methods in structural mechanics*. Moscow, Publishing house of literature on construction, 1965; 280 (rus.).

2. Pshenichkin A.P., Garagash B.A. Study of the statistical characteristics of external influences on buildings in Volgograd. *Reliability and durability of building structures: collection of scientific papers*. Volgograd, 1974; 72-75. (rus.).

3. Kurguzov K.V. Fomenko I.K., Sirotkina O.N. Probabilistic and statistical approaches to uncertainty assessment in lithotechnogenic systems. *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2020; (2):65-74. DOI: 10.31857/S0869780920020071 (rus.).

4. Russell C. *Probabilistic methods applied to geotechnical engineering*. Paris, 2005. URL: <https://ru.scribd.com/document/428302702/PEM-Method-Geotech>

5. Einstein G.B., Baecher H.H. Probabilistic and statistical methods in engineering geology. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 1983; 16:39-72. DOI: 10.1007/BF01030217

6. Ellingwood B., Galambos T.V., MacGregor J.G., Cornell C.A. *Development of a probability*

- based load criterion for American national standard A58. Washington, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1980; 222. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nbsspecialpublication577.pdf>
7. Santos N.D. dos, Siqueira G.Y., Vieira Junior L.C.M. A stochastic approach for the wind load effect on steel structures. *Rem : Revista Escola de Minas*. 2016; 69(2):137-145. DOI: 10.1590/0370-44672015690203
 8. Hui Y., Tamura Y., Yang Q. Estimation of extreme wind load on structures and claddings. *Journal of Engineering Mechanics*. 2017; 143(9). DOI: 10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001304
 9. Honfi D. Serviceability floor loads. *Structural safety*. 2014; 50:27-38. DOI: 10.1016/j.strusafe.2014.03.004
 10. Shpete G. *Reliability of load-bearing building structures*. Moscow, Stroyizdat publ., 1994; 288. (rus.).
 11. Melchers R.E., Beck A.T. *Structural reliability analysis and prediction*. 3rd ed. New Jersey, John Wiley & Sons Ltd, 2018; 515.
 12. Fenton G.A., Griffith D.V. *Risk assessment in geotechnical engineering*. New Jersey, WILEY, 2008; 480.
 13. Kurguzov K.V. *Stochastic modeling of lithotechnical systems : cand. geological and mineralogical sci. diss*. Moscow, 2019. URL: <https://www.dissercat.com/content/stokhasticheskoe-modelirovanie-litotekhnicheskikh-sistem>
 14. Corotis R.B., Tsay W.-Y. Probabilistic load duration model for live loads. *Journal of Structural Engineering*. 1983; 109(4):859-874. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1983)109:4(859)
 15. Gordeev V.N., Lantukh-Lyashchenko A.I., Pashinskiy V.A., Perel'muter A.V., Pichugin S.F. *Loads and impacts on buildings and structures*. Moscow, ASV publ., 2006; 476. (rus.).
 16. Gorodetskiy B.L., Kotlov G.G., Sokolkin A.F. Statistical studies of permanent loads from the dead weight of coatings in industrial buildings. *Reliability problems in construction design : to the conf. in Sverdlovsk (Oct., 1972) / S.A. Timasheva (ed.)*. Sverdlovsk, 1972; 40-45. (rus.).
 17. Zhdanov E.R., Malikov R.F., Khismatullin R.K. *Computer simulation of physical phenomena and processes by the Monte-Carlo method*. Ufa, 2005; 124. (rus.).
 18. Mikhaylov G.A., Voytishchek A.V. *Numerical statistical modeling. Monte Carlo methods*. Moscow, Publishing Center "Academy", 2006; 366. (rus.).
 19. Binder K., Heermann D.W. *Monte Carlo simulation in statistical physics: An introduction*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1992; 129.
 20. Zemtsov V.M., Zemtsova I.V. *Elements of probability theory and mathematical statistics*. Moscow, ASV publ., 2013; 545 (rus.).
 21. Vatutin V.A., Ivchenko G.I., Medvedev Yu.I., Chistyakov V.P. *Theory of probability and mathematical statistics*. 4th ed. rev. Moscow, LENAND publ., 2015; 384. (rus.).
 22. Marques de Sa J.P. *Applied statistics using SPSS, Statistica, Matlab and R*. New-York, Springer, 2007. DOI: 10.1007/978-3-540-71972-4
 23. Rzhantsyn A.R. *The theory of calculating building structures for reliability*. Moscow, Stroyizdat publ., 1978; 239. (rus.).
 24. Lauterbach S., Fina M., Wagner W. Influence of stochastic geometric imperfections on the load-carrying behaviour of thin-walled structures using constrained random fields. *Computational Mechanics*. 2018; 62(5):1107-1125. DOI: 10.1007/s00466-018-1554-0

Received June 16, 2020.

Adopted in revised form on August 6, 2020.

Approved for publication on August 25, 2020.

B I O N O T E S: **Konstantin V. Kurguzov** — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Design Engineer; **Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI)**; 23 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117997, Russian Federation; SPIN-code: 8725-6560, ORCID: 0000-0001-7220-4086; kurguzov@yandex.ru;

Igor K. Fomenko — Professor, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor the Department of Engineering Geology; **Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI)**; 23 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117997, Russian Federation; ID RISC: 63706, Scopus: 56975492900, ResearcherID: L-5467-2016, ORCID: 0000-0003-2318-6015; ifolga@gmail.com;

Daria D. Shubina — Senior Lecturer of the Department of Engineering Geology; **Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI)**; 23 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117997, Russian Federation; ID RISC: 942206, Scopus: 57194526139, ORCID: 0000 0003 2161 2500; ddshubina@gmail.com.

Расчет интенсивности теплового острова в мегаполисах с помощью моделирования в программе ENVI-met

Ле Минь Туан, И.С. Шукуров, М.О. Гельманова, М.Ю. Слесарев

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Моделирование городского микроклимата, в частности, феномена городского теплового острова (ГОТ), становится все более важным для городского планирования. В настоящее время анализ этого явления возможен благодаря значительной вычислительной мощности компьютеров и связи между инструментами компьютерного моделирования и базами данных, содержащих информацию о городской среде. Современные компьютерные средства позволяют рассчитать характеристики городского микроклимата посредством анализа и оценки различных воздействий городских климатических и антропогенных факторов (городская морфология, землепользование, строительные площадки, альbedo и т.д.).

Материалы и методы. ENVI-met — компьютерная программа для моделирования микроклимата в городской среде. Эта программа способна оптимизировать пропорции зданий и улиц, уличное затенение, расположение открытых пространств, движение воздуха и использование строительных материалов в отношении теплового комфорта и мер по смягчению последствий ГОТ для экологического планирования нового района. Рассматривается один из районов Ха Донг Ханоя с высокой плотностью высотных зданий, на примере которого подробно исследуется процесс детального моделирования, расчета и оценки эффекта ГОТ.

Результаты. С помощью моделирования в программе ENVI-met доказали, что температура воздуха в городской местности Ван Фу постепенно увеличивается с 8 до 17 ч, в течение которых максимальная температура воздуха может достигать 32,28 °C в течение 16 ч. Интенсивность ГОТ достигла своего максимального значения в интервале времени с 0:00 до 1:00 ч 29 мая 2017 г. и составила 2,41 °C.

Выводы. Города представляют собой сложные системы с широким спектром интерактивных факторов, влияющих на изменение городского климата. Значение $R^2 = 0,94$ подтвердило достоверность программного обеспечения ENVI-met для использования в климатических условиях жаркого, влажного и тропического города Ханой для моделирования и имитационных исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: микроклимат, городской остров тепла, городской ветер, озеленение, городское планирование, тепловой комфорт, городская тепловая среда, ENVI-met

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ле Минь Туан, Шукуров И.С., Гельманова М.О., Слесарев М.Ю. Расчет интенсивности теплового острова в мегаполисах с помощью моделирования в программе ENVI-met // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 9. С. 1262–1273. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1262-1273

Using ENVI-met simulation to analyze heat island intensity in megalopolises

Le Minh Tuan, Ilkhomzhon S. Shukurov, Margarita O. Gelmanova,
Mikhail Yu. Slesarev

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

ABSTRACT

Introduction. The simulation of urban microclimates, including the urban heat island (UHI) phenomenon, has turned all the more important for urban planning. Presently, the analysis of this phenomenon is feasible thanks to high computational power of computers and links between computer modeling instruments and databases that contain information on urban environments. Advanced hardware helps to study characteristics of urban microclimates by analyzing and assessing their exposure to various climatic and anthropogenic urban factors (urban morphology, land use, construction sites, albedo, etc.)

Materials and methods. ENVI-met is a software model used to simulate microclimates in urban environments. This software can optimize proportions of buildings and streets, outdoor shading, outdoor space planning, air movement, and use of construction materials in respect of thermal comfort and measures taken to mitigate consequences of urban heat islands within the framework of environmental planning of new districts. The co-authors analyze Ha Dong, a Hanoi district characterized by the high density of high-rise buildings. The co-authors consider the example of this district to study the process of detailed simulation, analysis and assessment of UHI effects.

Results. ENVI-met and its simulation capacity is employed to prove that the air temperature in Wang Fu, an urban area, gradually rises from 8 am to 5 pm, when the air temperature reaches its maximal value of 32.28 °C during the period of sixteen hours. UHI intensity was maximal between midnight and 1 am on May 29, 2017, when it reached 2.41 °C.

Conclusions. Cities are complex systems exposed to a wide array of interactive factors that influence the urban climate change. The value of R^2 equal to 0.94 has proven the reliability of ENVI-met applied to simulate and imitate the climate of Hanoi, which is a hot and damp tropical city.

KEYWORDS: microclimate, urban heat island (UHI), urban evening, landscape gardening, urban planning, thermal comfort, urban thermal environment, ENVI-met

FOR CITATION: Le Minh Tuan, Shukurov I.S., Gelmanova M.O., Slesarev M.Yu. Using ENVI-met simulation to analyze heat island intensity in megalopolises. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(9):1262-1273. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1262-1273 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Урбанизированная среда является местом радиационных, тепловых, динамических и гидравлических процессов, преобразующих климат. Особенность, отличающая городскую территорию от сельской, заключается в менее интенсивном рассеивании тепла ночью. Город накапливает тепловую энергию в течение дня и лишь частично отдает ее в окружающее пространство в ночное время [1, 2]. Структура городской среды, интенсивное использование городских территорий и высокая плотность застройки в сочетании с большой тепловой массивностью зданий приводят к снижению скорости ветра [3]. В современных условиях, когда появилась потребность в уменьшении последствий урбанизации, важную роль стали приобретать знания в отношении моделирования различных физических явлений в городах. Контроль энергопотребления городов, описание и количественная оценка воздействий городского острова тепла (ГОТ), изучение внутреннего и внешнего теплового комфорта городских жителей связаны с развитием знаний о взаимодействии между городом, климатом и энергией. ГОТ — одно из наиболее обсуждаемых явлений в научной литературе; он способствует глобальному потеплению и приводит к необходимости пересматривать политику устойчивого городского планирования [4]. Хорошие климатические условия и хорошее качество воздуха имеют большое значение для благополучия человека и служат значимыми факторами, влияющими на флору и фауну, а также на системы сельского хозяйства. Продуцирование свежего воздуха, а также очистка воздуха — важные функции здоровой климатической системы с точки зрения изменения климата. Для определения и анализа соответствующей климатической информации климат возможно описать на микро-, мезо- и макроуровне. Микроклимат может быть отнесен к небольшим по размеру территориям или сооружениям, расположенным на расстоянии до нескольких метров (например, строительные комплексы или деревья), именно микроклимат в первую очередь влияет на здоровье людей, а также растений и животных. Соответствующими метеорологическими показателями являются: температура, направление

и скорость ветра, испарение, относительная влажность и продолжительность солнечного излучения. Например, городские непроницаемые поверхности оказывают негативное влияние на местный климат, они сильно нагреваются в течение дня и медленно остывают в течение ночи [5]. Кроме того, эти поверхности почти не способны фильтровать загрязняющие воздух вещества и частицы пыли. Негативные воздействия на климат в основном вызваны выбросами, а также препятствиями для процессов воздухообмена (каковыми служат строительные конструкции) и уменьшением количества открытых/зеленых зон, столь важных для здорового микроклимата [1].

Связь между экосистемой и городом должна лежать в основе устойчивого развития городских территорий. С другой стороны, отсутствие открытых пространств и зеленых насаждений, высокая плотность застройки, компактность городских кварталов, плохое качество воздуха и постоянный транспортный коллапс могут привести к ухудшению городской среды. По этой причине озеленение городов, как часть биоклиматической концепции развития урбанизированной среды, может стать способом снижения температуры наружного воздуха в жаркие дни. Результатом вышеупомянутой методики улучшения микроклимата (увеличение площадей озеленения) станет улучшение условий теплового комфорта на открытом воздухе [6]. Независимо от погодных условий общий тепловой поток, поступающий в здание с зеленой крышей, может быть снижен на 50–60 % по сравнению со зданием, имеющим обычную кровлю [7]. В жарком сухом климате увеличение влажности в атмосфере при помощи озеленения может снизить температуру до 5 градусов, таким образом, увеличивая тепловой комфорт летом [8]. Деревья и растительность наиболее эффективны в качестве средства смягчения климата, если их высаживать в «стратегически» важных местах вокруг зданий или для затенения тротуара или улиц.

В работе описывается использование климатической модели в программе ENVI-met для помощи в принятии решений, касающихся проектирования городских пространств на примере городской зоны Ван Фу в районе Ха Донг. Цель исследования за-

ключается в расширении понимания феномена ГОТ и проблем микроклимата города, которые влияют на деятельность людей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Характеристика городского острова тепла

ГОТ характеризуется избыточной температурой воздуха в городских районах относительно окружающей город сельской местности. Слой городского купола — это приземный слой воздуха, простирающийся вверх примерно до средней высоты здания (рис. 1). Каждый ГОТ имеет свои уникальные особенности, количественная оценка этого явления зависит от конкретного города. Во многих исследованиях показано, что измерение уровня температуры на улицах не имеет значения, поскольку температура воздуха меняется незначительно, на расстоянии более одного метра от стен или дороги [9, 10]. В литературных источниках перечисленные методы наблюдения ГОТ основаны на сборе статистических данных о разнице температур между городскими и сельскими метеорологическими станциями [11, 12]; изучении тенденций изменения температуры по данным городских метеостанций в сравнении с данными температурного тренда, наблюдаемого для нескольких станций, установленных в средах с различным уровнем; наблюдениях с помощью сети стационарных станций, вдоль дорог с использованием транспортного средства.

Территория исследования и сбор данных

Цель настоящего исследования — изучение влияния плотно застроенной территории на городской микроклимат. Для этого выясняется, как температурные условия меняются в зависимости

от количества растительности в жилом районе. Был исследован городской микрорайон Ван Фу в центре Ха Донг с населением 20 000 человек и площадью 94,1 га, спроектированный с учетом требований к современному архитектурному пространству и инфраструктуре (рис. 2). Улично-дорожная сеть составляет 34,4 % от общей площади микрорайона Ван Фу. На территории имеются офисные здания, высотой 36–40 этажей, и жилые кварталы со зданиями высотой 4–5 этажей. В целом, территория характеризуется небольшим количеством растительности, узкими улицами, примыкающими к автострадам с большой плотностью движения — источникам загрязняющих веществ. В стремлении к более высокой точности компьютерного моделирования прилегающая к центру района область учитывалась при расчете модели.

Для моделирования использовались микроклиматические показатели ближайшей метеостанции. Цель моделирования заключалась в изучении возникновения городского микроклимата из текущих условий среды и возможности с помощью растительности улучшить тепловой комфорт. На основании климатических данных с сайта climate.oneBuilding.org в анализе были учтены соответствующие метеорологические параметры: изменение температуры со временем, относительная влажность, скорость и направление ветра для типичного летнего дня.

Моделирование городского микроклимата

Программное обеспечение ENVI-met использует параметры зданий, растительности, поверхности земли, климатических условий, почв для моделирования изменений микроклимата в зависимости от формы здания, дополнительного затенения и т.д. ENVI-met представляет собой трехмерную ком-

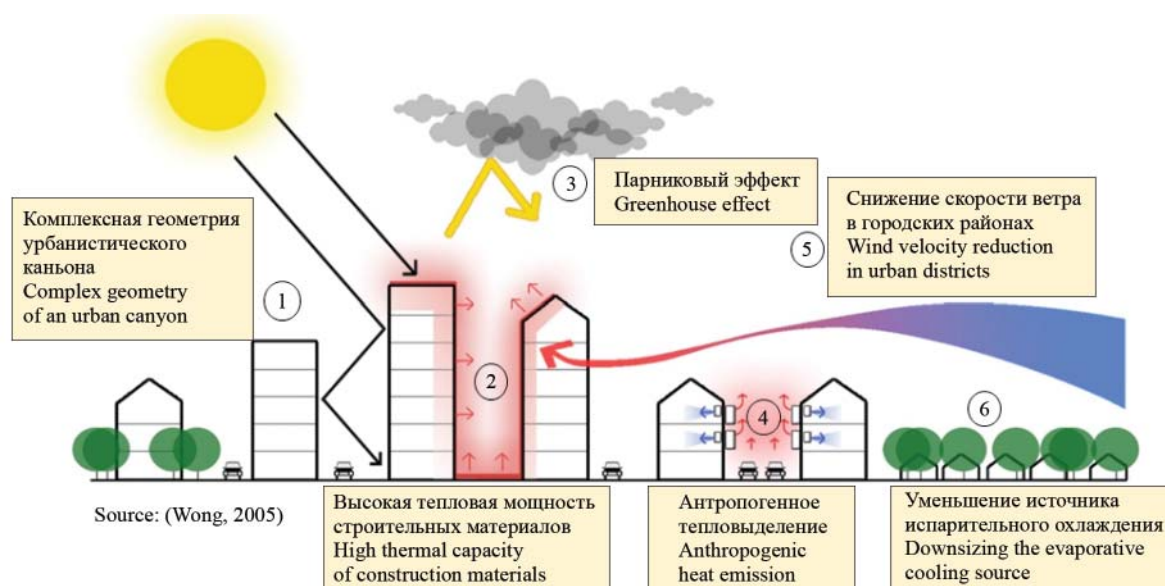




Рис. 1. Схематичное изображение ГОТ

Fig. 1. The UHI layout

Новый квартал Ван Фу — Район Ха Донг — г. Ханой
Wang Fu, a new block — Ha Dong District — Hanoi

Карта планирования участка
Site engineering map

Условные обозначения:
The legend:

-  Граница территории исследований
Research area boundary
-  Граница планировки
Layout boundary

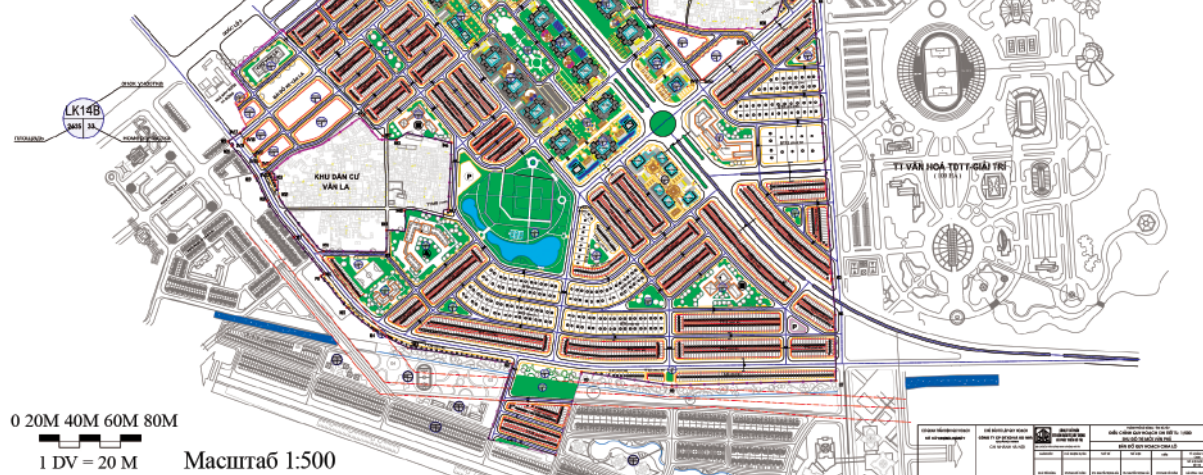


Рис. 2. Территория исследования

Fig. 2. The area under research

пьютерную модель, которая анализирует микро-масштабные тепловые взаимодействия в городских условиях. Программное обеспечение использует как расчет динамических характеристик воздушной среды, таких как поток воздуха и турбулентность, так и термодинамические процессы, происходящие на поверхности земли, на стенах, на крышах и озелененных зонах. ENVI-met учитывает все виды солнечного излучения (прямое, отраженное и рассеянное) и рассчитывает среднюю температуру излучения. Расчет радиационных потоков учитывает затенение растениями, поглощение и экранирование ими излучения, а также переизлучение [13].

ENVI-met моделирует динамические изменения нескольких термодинамических параметров в макромасштабном диапазоне, создавая трехмерную (ячейка сетки размером $2 \times 2 \times 2$ м), негидростатическую модель взаимодействия здания – атмосферы – растительности [14]. Благодаря фундаменту, основанному на принципах механики жидкости, термодинамики и законах физики атмосферы, он способен рассчитывать трехмерные поля ветра, турбулентности, температуры и влажности воздуха, радиационные потоки и рассеивание загрязняющих веществ [15]. Высокое пространственное разрешение модели в сочетании с детальным моделированием растительности позволяет рассчитывать индивидуальные скорости фотосинтеза

с учетом локальной солнечной радиации, температуры и влажности воздуха, скорости ветра, концентрации CO_2 и многих других параметров [15, 16].

Перед моделированием в ENVI-met необходимо сделать два основных шага. Первый — это редактирование входных данных городского района, подлежащего тестированию. Для этой задачи требуются горизонтальные и вертикальные размеры архитектурной среды, а также любые специфические конструктивные особенности, такие как открытые подъездные пути, выступы, материалы горизонтальной поверхности, почвенный покров, размер растительности и ее площадь и т.д.

Модель запроектирована в трехмерном пространстве, где расположены здания, деревья/растительность и различные поверхности. Эти элементы представлены ячейками сетки различного размера. Чем меньше ячейка, тем лучше разрешение (всего 0,5 м). Ячейки могут иметь размеры в каждом из трех измерений от 0,5 до 10 м. Например, область размером 100×100 м может быть представлена сеткой 100×100 ячеек размером 1×1 м каждая, или она может быть представлена сеткой 20×20 ячеек размером 5×5 м каждая, в зависимости от размера тестовой области и желаемого разрешения [17].

Вторым этапом является редактирование файла конфигурации, в который вводятся информация о местоположении объекта, температуре, скорости

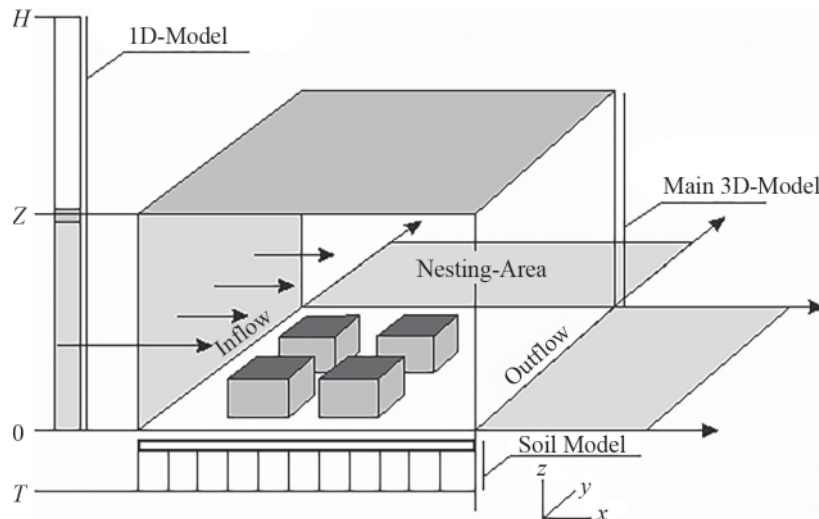


Рис. 3. Базовая схема CFD-моделирования в ENVI-met [13]

Fig. 3. CFD simulation by ENVI-met: the process layout [13]

ветра, влажности, параметрах PMV, а также базы данных по типам почвы и растительности. Симуляция затем просчитывается с использованием как входных файлов, так и файлов конфигурации. Приведенная блок-схема иллюстрирует методы, использованные в этой работе для моделирования параметров микроклимата с помощью ENVI-met (рис. 3).

Последующий процесс включает три основных этапа: полную организацию каталога файлов; моделирование и редактирование параметров модели (данных микроклимата и элементов сборки) с использованием базы данных растений и материалов поверхности, создающих входной файл расчетной

области (INX) и файл моделирования (SIM); оценку файлов результатов (EDT/EDX) и их визуализацию (рис. 4).

Каждый выходной файл содержит множество информации, которая должна быть переведена в разные слои в Leonardo. Следующие основные слои обычно используются для визуализации выходных данных:

- уровень данных — отображает непрерывные показатели (например, температуры);
- специальный — отображает отдельные параметры (например, здания, заводы);
- вектор — отображает векторы, такие как ветер.

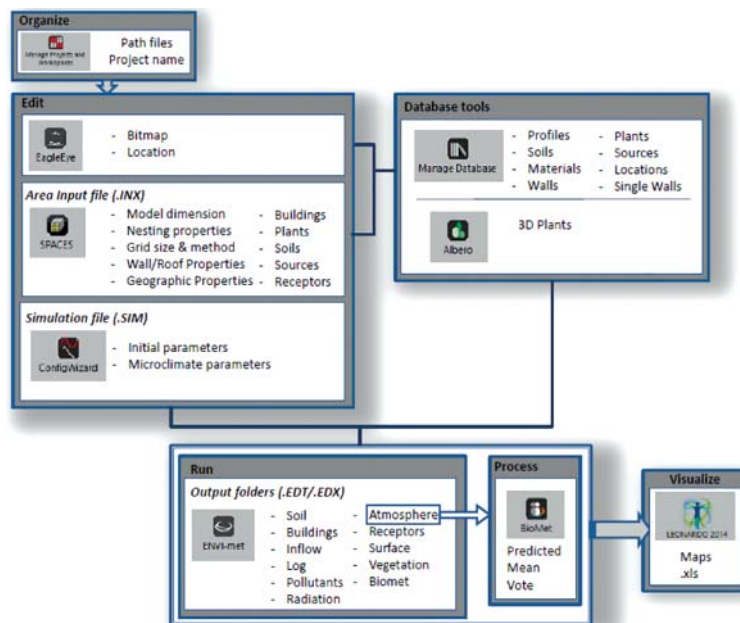


Рис. 4. Рабочий процесс в ENVI-met

Fig. 4. The ENVI-met workflow

Визуализация затем настраивается для отображения городской среды с нужным «срезом» данных: по горизонтали (вид в плане), по вертикали (вид в разрезе) или в трехмерном аксонометрическом виде. Такое разложение позволяет анализировать мелкомасштабные взаимодействия между отдельными зданиями, поверхностями и растениями для различных сценариев в течение 24 часов.

Для того чтобы смоделировать условия микроклимата в этом районе и изучить сценарии смягчения последствий ГОТ, был выбран один из самых жарких дней в 2019 г. Что касается пиковых значе-

ний моделирования: зарегистрированная температура для мая была 31,73 °С в 17:00 ч летом (табл. 1).

В каждом выходном файле базы данных ENVI-met представлены различные материалы и трехмерные растения, позволяющие детально реконструировать городскую среду. Каждый тип материала определяется удельной теплоемкостью, поглощением, альбедо и другими параметрами. На рис. 5 и в табл. 2 проиллюстрированы все выбранные материалы, которые использовались для построения модели местности.

Табл. 1. Исходные данные области исследования в ENVI-met

Table 1. Input data designated for research in ENVI-met

Размер имитационной модели, м / Simulation model dimensions, m	1300 × 1200 × 244
Размер модели (количество сеток в направлении xyz) Model dimensions (the number of grids in xyz directions)	187 × 192 × 35
Размер ячейки сетки, м, dx, dy, dz Grid cell dimensions, m, dx, dy, dz	8 × 8 × 8
Географическое положение (широта, долгота) Geographical position (latitude, longitude)	20.96, 105.76
Вложенные сетки / Sub-grids	8
Метод генерации вертикальной сетки Vertical grid generation method	Эквидистантный Equidistant
Часовой пояс / Time zone	GMT +7
Основные параметры модели / Principal model parameters	
Дата моделирования / Simulation date	29 мая 2019 г. / May 29, 2019
Начало и продолжительность моделирования Simulation start time and duration	00:00, 24 ч / hours
Скорость ветра, измеренная на высоте 10 м Wind velocity at the altitude of 10 m	2,53 м/с / m/s
Направление ветра / Wind direction	142,60°
Начальная температура атмосферного воздуха Initial air temperature	29,625 °С = 302,775 K
Минимальная температура (дата моделирования) Minimal temperature (simulation date)	26,976 °С
Максимальная температура (дата моделирования) Maximal temperature (simulation date)	31,73 °С
Относительная влажность на высоте 2 м, % Relative humidity at the altitude of 2 m, %	66,93 %
Удельная влажность в верхней части модели (2500 м, г/кг) Unit humidity of the upper part of a model (2,500 m, g/kg)	16,33 г/кг / g/kg
Минимальная влажность (дата моделирования) Minimal humidity (simulation date)	51,66 %; 6 ч / pm
Максимальная влажность (дата моделирования) Maximal humidity (simulation date)	78,36 %; 6 ч / pm

Табл. 2. Типы элементов строительной среды
Table 2. Types of elements in a built environment

Тип элемента / Element type	Альbedo / Albedo
Бетонная стена / Concrete wall	0,3
Заасфальтированная дорога / Paved road	0,2
Тротуары / Sidewalks	0,3
Почва / Soil	0,1



Рис. 5. Типы материалов исследуемой территории (2D)
Fig. 5. Types of materials within an area under research (2D)

Табл. 3. Типы поверхностей площади
Table 3. Types of surfaces

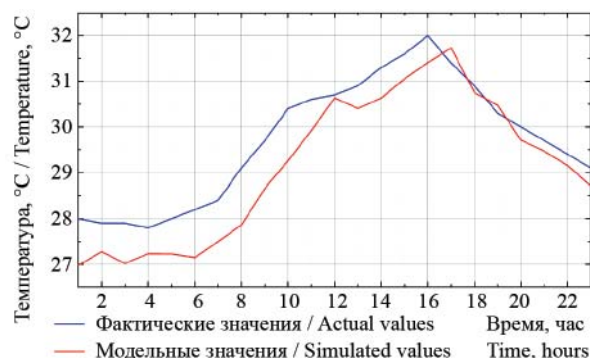
Площадь, м ² / Area, m ²				
Застройка / Built-up area	Тротуар / Sidewalk	Дороги / Roads	Зеленые насаждения / Greenery	Итого / Total
311 461,63	453 932,49	242 524,5	77 335,13	1 085 253,76

Рис. 5 и табл. 3 доказывают, что городская среда, как правило, характеризуется поверхностями с высоким альbedo и редкими участками растительности, расположенными на открытых пространствах или вдоль дорог.

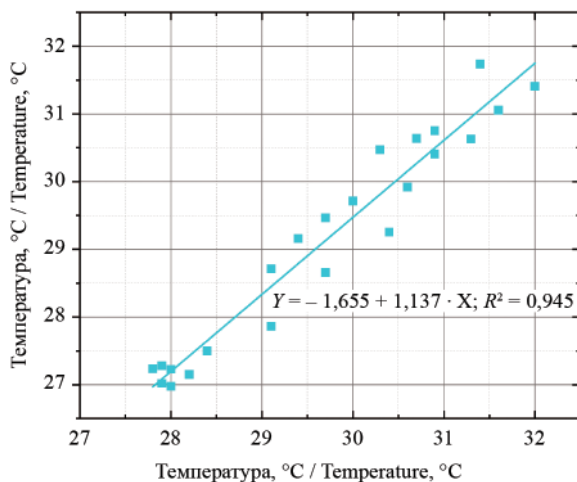
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Учитывая нелинейность и сложность описания климатических и тепловых явлений в городских пространствах, необходимо использовать динамическое численное моделирование, позволяющее проводить сравнительный анализ относительного потенциала различных предлагаемых мероприятий

и базового варианта. Величина R^2 , равная 0,94, была получена при сравнении средних значений температуры фактических наземных измерений с полученными при моделировании значениями, что подтверждает достоверность расчетов в ENVI-met для выбранного участка (рис. 6). ENVI-met зарекомендовало себя как программное обеспечение, которое воспроизводит сложности городской климатической системы: одновременные и интерактивные расчеты радиационного, теплового и гидравлического баланса, а также аэродинамики в городских пространствах в различных масштабах. Эти расчеты могут применяться для климатического моделирования на выбранной площадке во влажном тропическом климате Ханоя.



a



b

Рис. 6. Результаты проверки: a — температура в зависимости от времени; b — фактические значения в сравнении со значениями модели

Fig. 6. Verification results: a — dependence of temperature on time; b — actual values vs simulated values

Программа ENVI-met предоставляет результаты 24-часового моделирования микроклимата нового городского района Ван Фу 29 мая 2017 г. (рис. 7). Результаты моделирования микроклимата

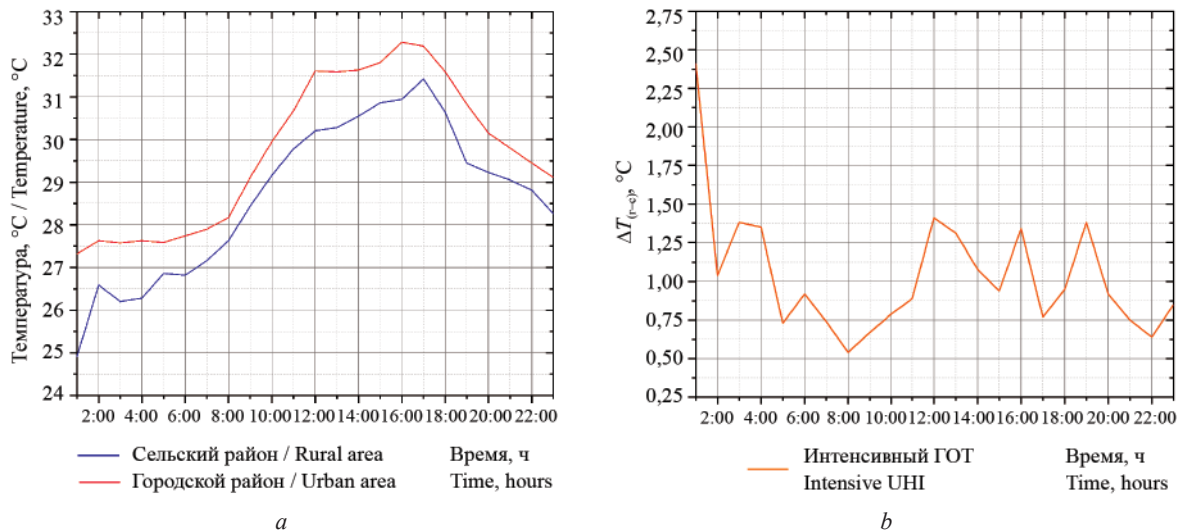


Рис. 7. Разница температуры воздуха между городской и сельской местностью за 24 часа (а); интенсивный ГОТ в течение 24 часов (b)

Fig. 7. Air temperature difference in urban and rural areas within a 24-hour period (a); intensive UHI within a 24-hour period (b)

фиксируют температуру внутри области с плотной застройкой многоэтажными зданиями в интервале от 27,32 до 32,28 °С, в то время как температура внутри области с малоэтажными редко расположенными зданиями варьируется от 24,91 до 31,42 °С. Интенсивность ГОТ в новом городском районе Ван Фу определяется разницей между температурой внутренней зоны и зоны вне города. Интенсивность ГОТ достигла своего максимального значения в интервале времени с 0:00 до 1:00 ч 29 мая 2019 г. и составила 2,41 °С. Различия в температуре воздуха между городом и деревней часто бывают самыми значительными в ясные вечера, поскольку сельская местность охлаждается ночью быстрее, чем город, который сохраняет большую часть тепла, аккумулированного дорогами и зданиями.

Температура воздуха в городской местности Ван Фу постепенно увеличивается с 8 до 17 ч, в течение которых максимальная температура воздуха может достигать 32,28 °С в течение 16 ч (рис. 8, а). Результаты моделирования климата соответствуют фактическим результатам, зарегистрированным в Ханое. Феномен повышения температуры воздуха обусловлен влиянием микроклимата, вызванного эффектом фона, в сочетании с влиянием высотной застройки. Во временном интервале между 12 и 16 ч температура воздуха составляет 30,2–32,28 °С, этот температурный диапазон превышает пороговое значение температуры наружного комфорта для жителей Вьетнама (табл. 4), поэтому отрицательно сказывается на активности людей, живущих в городских районах.

Табл. 4. Тепловое ощущение жителей Вьетнама [18, 19]

Table 4. Warmth sense modality of Vietnamese people [18, 19]

Микроклимат / Microclimate	Тепловое ощущение / Warmth sense modality	По графику эффективной температуры / According to the effective temperature graph		Температура воздуха, °С (φ = 80 %; ν = 0,3–0,5 м/с) / Air temperature, °С (φ = 80 %; ν = 0.3–0.5 m/s)	
		Холодный сезон / Cold season	Жаркий сезон / Hot season	Холодный сезон / Cold season	Жаркий сезон / Hot season
Комфорт / Comfort	Нижнее значение / Bottom value	20,0	—	21,5	—
	Комфортно / Comfortable	23,3	24,0	24,5	25,5
	Предельно допустимое значение / Limit value	26,5	28,0	29	29,5

Результаты моделирования в ENVI-met также показывают проблемы с вентиляцией в городской местности Ван Фу. Преобладающее направление ветра в районе исследования — юго-восток (рис. 8, *b*). В центральной части города скорость ветра меняется незначительно. Здания построены близко друг к другу, чтобы блокировать юго-восточный ветер, который частично влияет на температуру воздуха в области малоэтажных зданий на северо-западе. Температура вокруг северо-западного городского жилого района Ван Фу местами достигает 32 °С.

Результат сравнения изменения температуры воздуха в городской местности Ван Фу во время самой низкой температуры воздуха в 1:00 и самой высокой температуры воздуха в 16:00 показывает, что температура воздуха изменяется от 3,96 до 6,10 °С. Кварталы с высотными зданиями имеют меньшие перепады температуры, чем районы с малоэтажными зданиями (рис. 9, *a*). Это объясняется тем, что

группа высотных зданий днем получает прямое излучение солнца, а ночью отдает тепловое излучение в окружающую среду. Таким образом, температура воздуха среди высотных зданий меняется в меньших пределах, чем температура среди малоэтажных зданий. С другой стороны, чем ниже температура воздуха, тем меньше количество влаги, которое может храниться в воздухе, и, наоборот, влагоемкость воздуха увеличивается с ростом температуры (рис. 9, *b*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Города являются сложными системами с широким спектром интерактивных факторов, влияющих на изменение городского климата. Поэтому все еще очень трудно измерить и различить их отдельные эффекты, несмотря на многочисленные утверждения, найденные в литературе о ГОТ.

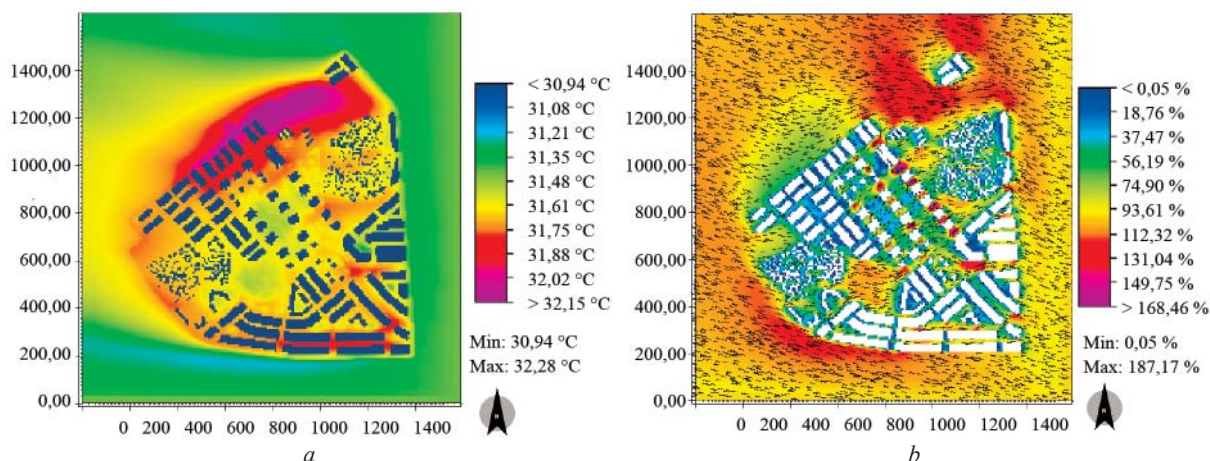


Рис. 8. Потенциальная температура воздуха в городском районе Ван Фу в 16:00 (*a*); скорость ветра в городской зоне Ван Фу в 16:00 (*b*)

Fig. 8. Potential air temperature in Van Phu urban district at 4 pm (*a*); wind velocity in Van Phu urban area at 4 pm (*b*)

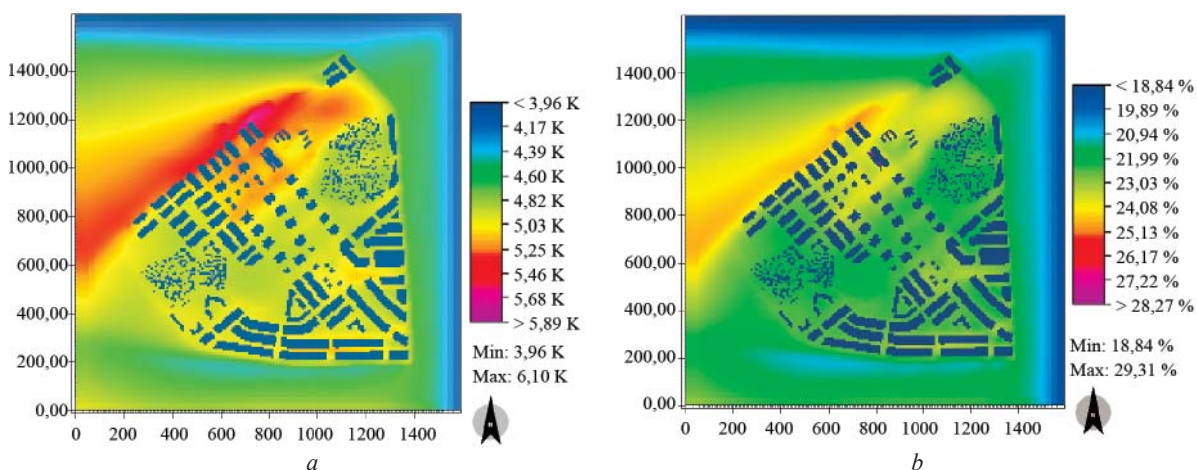


Рис. 9. Абсолютная разница потенциалов температуры воздуха (*a*); абсолютная разница относительной влажности (*b*)

Fig. 9. Absolute air temperature difference (*a*); absolute difference of relative humidity (*b*)

Тропический теплый и влажный климат в городской зоне Ван Фу (округ Ха Донг, г. Ханой) был исследован на возможность реализации городской инфраструктуры, приводящей к смягчению ГОТ. Значение $R^2 = 0,94$ подтвердило достоверность программного обеспечения ENVI-met для использования в климатических условиях жаркого, влажного и тропического города Ханой для моделирования и имитационных исследований.

Влияние озеленения и городских фонтанов на тепловой комфорт пешеходов и на энергопотре-

бление зданий будет смоделировано на следующем этапе исследования.

Такие факторы, как площади городской растительности и водных пространств, являются важными и могут напрямую влиять на текущий процесс проектирования, но их следует тщательно изучать для каждого случая. Именно здесь политика и программы по снижению воздействия тепловых островов и достижению соответствующих целей в области экологии и энергосбережения могут быть наиболее эффективными.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексашина В.В., Ле Минь Туан.* Влияние эффекта острова тепла на экологию мегаполиса // Проблемы региональной экологии. 2018. № 5. С. 36–40. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-15036
2. *Santamouris M., Synnefa A., Karlessi T.* Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions // Solar Energy. 2011. Vol. 85. Issue 12. Pp. 3085–3102. DOI: 10.1016/j.solener.2010.12.023
3. *Makropoulou M.* Microclimate improvement of inner-city urban areas in a Mediterranean coastal city // Sustainability. 2017. Vol. 9. Issue 6. P. 882. DOI: 10.3390/su9060882
4. *Ле Минь Туан.* Влияние планировки города на возникновение островов тепла в мегаполисах с тропическим климатом (г. Ханой) // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 2. С. 148–157. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.148-157
5. *Le M.T., Cao T.A.T., Tran N.A.Q., Sadriavich S.I., Nguyen T.K.P., Le T.K.C.* Case study of GIS application in analysing urban heating island phenomena in tropical climate country // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 661. P. 012090. DOI: 10.1088/1757-899X/661/1/012090
6. *Dimoudi A., Nikolopoulou M.* Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits // Energy and Buildings. 2003. Vol. 35. Issue 1. Pp. 69–76. DOI: 10.1016/S0378-7788(02)00081-6
7. *Santamouris M.* Cooling the cities — A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments // Solar Energy. 2014. Vol. 103. Pp. 682–703. DOI: 10.1016/j.solener.2012.07.003
8. *McPherson E.G., Simpson J.R., Peper P.J., Xiao Q.* Tree guidelines for San Joaquin Valley Communities. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 1999.
9. *Nakamura Y., Oke T.R.* Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon // Atmospheric Environment (1967). 1988. Vol. 22. Issue 12. Pp. 2691–2700. DOI: 10.1016/0004-6981(88)90437-4
10. *Eliasson I.* Urban-suburban-rural air temperature differences related to street geometry // Physical Geography. 1994. Vol. 15. Issue 1. Pp. 1–22. DOI: 10.1080/02723646.1994.10642501
11. *Nasrallah H.A., Brazel A.J., Balling R.C.* Analysis of the Kuwait City urban heat island // International Journal of Climatology. 1990. Vol. 10. Issue 4. Pp. 401–405. DOI: 10.1002/joc.3370100407
12. *Moreno-garcia M.C.* Intensity and form of the urban heat island in Barcelona // International Journal of Climatology. 1994. Vol. 14. Issue 6. Pp. 705–710. DOI: 10.1002/joc.3370140609
13. *Bruse Michael.* ENVI-met website (n.d.) retrieved on September 16, 2007. URL: <http://www.envi-met.com/>
14. *Berardi U., Wang Y.* The effect of a Denser City over the urban microclimate: The case of Toronto // Sustainability. 2016. Vol. 8. Issue 8. P. 822. DOI: 10.3390/su8080822
15. *Bruse M.* ENVI-met implementation of the Jacobs A — gs Model to calculate the stomata conductance. 2004. URL: http://envi-met.com/documents/new_a_gs.pdf
16. *Liu Z., Zheng S., Zhao L.* Evaluation of the ENVI-Met vegetation model of four common tree species in a subtropical hot-humid area // Atmosphere. 2018. Vol. 9. Issue 5. P. 198. DOI: 10.3390/atmos9050198
17. *Chatzinikolaou E., Chalkias C., Dimopoulou E.* Urban microclimate improvement using ENVI-met climate model // ISPRS — International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2018. Vol. XLII-4. Pp. 69–76. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-69-2018
18. *Pham Ngoc Dang, Pham Duc Nguyen, Luong Minh.* Vat ly xay dung (phan 1, nhiet va khi hau) (Строительная физика, часть 1, температура и климат) // NXB. Xay dung. Hanoi. 1981, (Издательство строительства Ханоя, 1981).
19. *Pham Ngoc Dang.* Huong dan thiet ke do an nhiet va khi hau kien truc (Справочник по архитектурному проектированию тепло-климатических проектов) // NXB. Xay dung. Hanoi, 1980 (Издательство строительства Ханоя, 1980).

Поступила в редакцию 21 апреля 2020 г.

Принята в доработанном виде 6 августа 2020 г.

Одобрена для публикации 28 августа 2020 г.

О Б А В Т О Р А Х: Ле Минь Туан — аспирант кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 2453-1372, ORCID: 0000-0003-4164-7452; grado@mgsu.ru;

Илхомжон Садриевич Шукуров — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 630748; grado@mgsu.ru;

Маргарита Олеговна Гельманова — аспирант кафедры проектирования зданий и сооружений; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 8462-8299, ORCID: 0000-0003-2232-5239; agpz@mgsu.ru;

Михаил Юрьевич Слесарев — доктор технических наук, профессор кафедры строительства объектов тепловой и атомной энергетики; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 631310, Scopus: 6507608631, ResearcherID: AAA-8053-2019, ORCID: 0000-0003-4528-2817; Slesarev@mgsu.ru.

REFERENCES

1. Aleksashina V.V., Le Minh Tuan. Influence of the urban heat island effects on the ecology of the megacity. *Regional Environmental Issues*. 2018; 5:36-40. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-15036 (rus.).
2. Santamouris M., Synnefa A., Karlessi T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy*. 2011; 85(12):3085-3102. DOI: 10.1016/j.solener.2010.12.023
3. Makropoulou M. Microclimate improvement of Inner-City urban areas in a Mediterranean coastal city. *Sustainability*. 2017; 9(6):882. DOI: 10.3390/su9060882
4. Le Minh Tuan. The influence of city planning on the emergence of heat islands in megacities with a tropical climate (Hanoi). *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2019; 14(2):148-157. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.148-157 (rus.).
5. Le M.T., Cao T.A.T., Tran N.A.Q., Sadriavich S.I., Nguyen T.K.P., Le T.K.C. Case study of GIS application in analysing urban heating island phenomena in tropical climate country. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 661:012090. DOI: 10.1088/1757-899X/661/1/012090
6. Dimoudi A., Nikolopoulou M. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*. 2003; 35(1):69-76. DOI: 10.1016/S0378-7788(02)00081-6
7. Santamouris M. Cooling the cities — A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*. 2014; 103:682-703. DOI: 10.1016/j.solener.2012.07.003
8. McPherson E.G., Simpson J.R., Peper P.J., Xiao Q. *Tree guidelines for San Joaquin valley communities*. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 1999.
9. Nakamura Y., Oke T.R. Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. *Atmospheric Environment (1967)*. 1988; 22(12):2691-2700. DOI: 10.1016/0004-6981(88)90437-4
10. Eliasson I. Urban-suburban-rural air temperature differences related to street geometry. *Physical Geography*. 1994; 15(1):1-22. DOI: 10.1080/02723646.1994.10642501
11. Nasrallah H.A., Brazel A.J., Balling R.C. Analysis of the Kuwait City urban heat island. *International Journal of Climatology*. 1990; 10(4):401-405. DOI: 10.1002/joc.3370100407
12. Moreno-garcia M.C. Intensity and form of the urban heat island in Barcelona. *International Journal of Climatology*. 1994; 14(6):705-710. DOI: 10.1002/joc.3370140609
13. Bruse Michael. *ENVI-met website (n.d.) retrieved on September 16, 2007*. URL: <http://www.envi-met.com/>
14. Berardi U., Wang Y. The effect of a denser city over the urban microclimate: The case of Toronto. *Sustainability*. 2016; 8(8):822. DOI: 10.3390/su8080822
15. Bruse M. *ENVI-met implementation of the Jacobs A — gs Model to calculate the stomata conductance*. 2004. URL: http://envi-met.com/documents/new_a_gs.pdf
16. Liu Z., Zheng S., Zhao L. Evaluation of the ENVI-Met vegetation model of four common tree species in a subtropical hot-humid area. *Atmosphere*. 2018; 9(5):198. DOI: 10.3390/atmos9050198

17. Chatzinikolaou E., Chalkias C., Dimopoulou E. Urban microclimate improvement using ENVI-met climate model. *ISPRS — International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2018; XLII-4:69-76. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-69-2018

18. Pham Ngoc Dang, Pham Duc Nguyen, Luong Minh. Vat ly xay dung (phan 1, nhiet va khi hau) (*Build-*

ing physics, part 1, temperature and climate. NXB. Xay dung. Hanoi, 1981 (Construction Publishing House Hanoi, 1981)).

19. Pham Ngoc Dang. Huong dan thiet ke do an nhiet va khi hau kien truc (*Handbook for architectural design of thermal and climatic projects*. NXB. Xay dung. Hanoi, 1980 (Construction Publishing House Hanoi, 1980)).

Received April 21, 2020

Adopted in revised form on August 6, 2020.

Approved for publication on August 28, 2020.

BIONOTES: **Le Minh Tuan** — postgraduate student of the Department of Urban planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 2453-1372, ORCID: 0000-0003-4164-7452; grado@mgsu.ru;

Ikhomzhon S. Shukurov — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Urban planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 630748; grado@mgsu.ru;

Margarita O. Gelmanova — postgraduate student of the Department of Design of Buildings and Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 8462-8299, ORCID: 0000-0003-2232-5239; agpz@mgsu.ru;

Mikhail Yu. Slesarev — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction of Thermal and Nuclear Energy Facilities; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 631310, Scopus: 6507608631, ResearcherID: AAA-8053-2019, ORCID: 0000-0003-4528-2817; Slesarev@mgsu.ru.

Интенсификация очистки высококонцентрированных буровых сточных вод с использованием биохимических стимуляторов

Е.В. Масленникова, В.В. Ермаков

Самарский государственный технический университет (СамГТУ); г. Самара, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Представлен новый подход к очистке высококонцентрированных буровых сточных вод (БСВ), основанный на ферментативной деструкции содержащихся в них полисахаридов. Цель работы — экспериментальная оценка способности биохимических стимуляторов интенсифицировать процесс очистки от минеральных примесей высококонцентрированных БСВ, содержащих полисахариды.

Материалы и методы. Исследования проводились на модельных растворах полисахаридов (карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), ксантановой камеди, гуаровой камеди), высококонцентрированных БСВ, содержащих полисахариды. Достоверность полученных результатов обеспечивается применением на базе аккредитованной лаборатории аттестованных методов анализа, внесенных в федеральный реестр методик выполнения измерений, а также проведением многократных серий экспериментов.

Результаты. Экспериментально выявлена способность биохимических стимуляторов — пивной дробины (ПД) и ферментного препарата (ФП) — интенсифицировать процесс очистки от минеральных примесей высококонцентрированных БСВ, содержащих полисахариды. Определена эффективность очистки при применении биохимических стимуляторов. Установлено увеличение скорости биодеструкции растворов КМЦ и гуаровой камеди по сравнению с естественной биодеструкцией при использовании ПД. Определено время деполимеризации растворов КМЦ и гуаровой камеди при использовании ФП.

Выводы. Предложен биологический способ очистки от минеральных примесей высококонцентрированных БСВ, содержащих полисахариды, составляющий более дешевую и экологичную альтернативу существующим решениям. Теоретически обоснована и экспериментально доказана возможность использования для очистки высококонцентрированных БСВ, содержащих полисахариды, отхода пивоваренного производства — ПД, как источника микроорганизмов, провоцирующих гидролиз полисахаридов. Экспериментально доказана целесообразность применения биохимических стимуляторов (ПД и ФП в отдельности) для интенсификации скорости осаждения минеральной части высококонцентрированных БСВ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: отработанный буровой раствор, высококонцентрированные буровые сточные воды, полисахариды, гидролиз, биодеструкция, биохимические стимуляторы, пивная дробина, ферментный препарат

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Масленникова Е.В., Ермаков В.В. Интенсификация очистки высококонцентрированных буровых сточных вод с использованием биохимических стимуляторов // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 9. С. 1274-1284. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1274-1284

Using biochemical agents to intensify the treatment of highly concentrated drilling wastewater

Elena V. Maslennikova, Vasilii V. Ermakov

Samara State Technical University (SSTU); Samara, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The co-authors have developed a new approach to the treatment of highly concentrated drilling wastewater (DWW). The approach is based on the enzymic degradation of polysaccharides that drilling wastewater contains. The research objective is to perform an experimental evaluation of the ability of this biochemical agent to intensify the process of removal of solid impurities from highly concentrated polysaccharide-containing DWW.

Materials and methods. The research was performed using standardized test solutions of polysaccharides (carboxymethyl cellulose (CMC), xanthane gum, guar gum), highly concentrated DWW-containing polysaccharides. The reliability of results is ensured by certified methods of analysis, included into the Federal Register of Measurement Procedures and performed by an accredited laboratory, as well as multiple series of experiments.

Results. The ability of the biochemical agents (brewing waste (BW) and an enzymatic agent (EP)) to intensify the process of removal of solid impurities from highly concentrated DWW-containing polysaccharides is identified experimentally. The efficiency of biochemical agents used in the process of treatment is determined. The biological degradation of CMC and guar gum solutions is faster than the natural biological degradation that involves BW. Depolymerization time is detected for CMC and guar gum solutions that contain EP.

Conclusions. The co-authors have developed a cheaper and more environmentally friendly alternative to existing solutions. It represents a biological method of solid impurities removal from highly concentrated BWW-containing polysaccharides. The use of brewing waste products (BW) as a source of microorganisms, that trigger the polysaccharide hydrolysis, is

theoretically substantiated and experimentally proven as a method of treatment of highly concentrated BWW-containing polysaccharides. The expediency of using biochemical agents (BW and EP in isolation) to accelerate the settling rate of solid components of highly concentrated BWW is proven experimentally.

KEYWORDS: waste drilling mud, highly concentrated drilling wastewater, polysaccharides, hydrolysis, biological degradation, biochemical agents, brewing waste, enzymatic agent

FOR CITATION: Maslennikova E.V., Ermakov V.V. Using biochemical agents to intensify the treatment of highly concentrated drilling wastewater. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(9):1274-1284. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1274-1284 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

В результате строительства скважин на нефть и газ образуются высококонцентрированные буровые сточные воды. Данный крупнотоннажный отход накапливается в земляных амбарах на территории буровой площадки, куда сливаются отработанный буровой раствор (ОБР) и буровые сточные воды (БСВ).

Месторождения нефти и газа находятся в основном в труднодоступных регионах страны, где наблюдаются сложные геологические и климатические условия [1]. Очистка высококонцентрированных БСВ затруднительна в условиях территорий с неразвитой инфраструктурой.

В последние десятилетия при приготовлении композиций буровых растворов широкое применение нашли полимерные реагенты, стабилизирующие коллоидно-дисперсную систему бурового раствора. С каждым годом наблюдается прирост новых типов реагентов и их модификаций [2], определяется эффективность полимеров путем анализа их влияния на основные параметры буровых растворов [3], непрерывно проводятся исследования их реологических параметров в буровых растворах [4, 5]. Полимеры удерживают воду в связанном состоянии, что значительно замедляет процесс естественного осаждения минеральной части высококонцентрированных БСВ. Реагенты на основе природных полисахаридов — наиболее широко применяемые при химической обработке буровых растворов.

Размещение высококонцентрированных БСВ в земляных котлованах после окончания бурения скважины приводит к попаданию загрязняющих веществ в почвогрунты при разливах или фильтрации из амбаров. Данное решение требует длительного времени обезвоживания содержимого при естественных условиях, что исключает на продолжительный период народнохозяйственное использование этих территорий, а при горизонтальном бурении, ограниченном временем эксплуатации отведенного участка, — неприемлемо.

Как показал анализ имеющихся публикаций [6–22], помимо захоронения в амбарах, существует ряд физических и физико-химических методов утилизации отходов бурения. Однако они требуют значительных энергетических и эксплуатационных затрат. Альтернативой могут выступать биологические методы очистки с использованием биохимиче-

ских стимуляторов, способных интенсифицировать процесс осаждения минеральной части высококонцентрированных БСВ за счет потенциала пищеварительных ферментов, выделяемых микроорганизмами, а также разлагать определенное количество нефти и нефтепродуктов. При этом связанная полимерами вода высвобождается, что способствует уменьшению объема отхода и возможности дальнейшего использования декантированной воды.

Полисахариды способны быстро разлагаться на начальном этапе бурения под влиянием естественных факторов, в частности, при микробиологическом воздействии. Однако существует ряд способов, предотвращающих микробиологическую деструкцию полимеров в буровых растворах, таких как увеличение щелочности бурового раствора до 11,5–12,0 рН, поддержание солёности бурового раствора не ниже 20 %, добавка к буровому раствору различных антиферментаторов (бактерицидов), подавляющих жизнедеятельность бактерий, введение в буровой раствор полисахарида, предварительного обработанного бактерицидной добавкой.

В настоящее время проводятся исследования по выявлению микроорганизмов-деструкторов химических реагентов, входящих в состав буровых растворов [23]. Исследования в области очистки БСВ, в частности с применением биохимических стимуляторов, до настоящего времени не проводились.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования — модельные растворы полисахаридов (карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), ксантановая камедь, гуаровая камедь), модельные растворы высококонцентрированных БСВ, содержащие полисахариды, а также биостимуляторы: отход производства пивоварения — пивная дробина (ПД) (свежая — срок хранения не более 3-х дней, застарелая — срок хранения от 4-х до 30 дней), ферментный препарат. Выбор данных полисахаридов был обусловлен степенью их популярности при приготовлении композиций буровых растворов. Концентрации полисахаридов в модельных растворах коррелировались с их концентрациями в БСВ.

Гипотеза состоит в том, что увеличение скорости ферментативной реакции приводит к интенсификации процесса осаждения минеральных

примесей. Биостимуляторы сокращают время деполимеризации полисахаридов, тем самым уменьшая время осаждения грубодисперсных частиц БСВ.

В ходе экспериментальной работы использовались следующие основные методы анализа: наблюдение; ситовой анализ (гравиметрия); вискозиметрия; микробиологический анализ, проводимый с помощью Самарского государственного медицинского университета (СамГМУ); микроскопия.

Гранулометрический анализ осуществлялся при помощи набора сит с различными диаметрами отверстий. Условная вязкость модельных БСВ определялась вискозиметром ВБР-2. Время истечения жидкости устанавливалось с помощью секундомера. Микроскопия проводилась с применением оптического микроскопа. При обработке данных исключались грубые погрешности и промахи. При построении графических зависимостей использовались усредненные значения результатов по каждой серии экспериментов.

С помощью ситового метода и электронной микроскопии определялся гранулометрический состав высушенной минеральной части исследуемых проб. Установлен средний диаметр частиц преобладающей фракции для расчета скорости осаждения минеральной части высококонцентрированных БСВ.

Эффективность деполимеризации оценивалась с помощью изменения вязкости растворов, влияющей на скорость осаждения частиц. Вязкость раствора при добавлении ПД или ферментного препарата сравнивалась с изменением вязкости исходного раствора с аналогичной концентрацией полисахарида.

Исходная ПД представляла собой густую консистенцию груборазмолотого зернового продукта со сроком хранения от одних суток до трех месяцев (табл. 1).

Табл. 1. Химический состав сырой пивной дробины

Table 1. Chemical composition of wet brewing waste

Усредненные показатели сырой дробины Averaged characteristics of wet brewing waste	Состав, % Composition, %
Влажность, % / Moisture content, %	75
Сухие вещества, % / Dry substances, %	25
Органические вещества, г/кг Organic substances, g/kg	970
Протеин, г/кг / Protein, g/kg	260
Клетчатка, г/кг / Cellulose, g/kg	180
Жиры, г/кг / Fats, g/kg	82
Зола, г/кг / Ash, g/kg	40
Безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ), г/кг Nitrogen-free extractives (NFES), g/kg	438

Микробиологический анализ ПД (при хранении более месяца в анаэробных условиях) показал присутствие микроорганизмов: протей, энтерококки, ферментирующие грамотрицательные палочки, неферментирующие грамотрицательные палочки, плесневые грибы, дрожжевые грибы. Для выявления оценки способности ПД к биодеструкции растворов КМЦ эксперименты проводились с различными концентрациями полисахарида в растворе, в аэробных и анаэробных условиях, с использованием свежей и застарелой ПД.

Состав ФП (продуцируемого микробной культурой *Trichoderma viride*): целлюлаза — 2000±200 ед./г, ксиланаза — до 8000 ед./г, β-глюканаза — до 1500 ед./г, глюкоамилаза — до 20 ед./г.

На первоначальном этапе исследования определение вязкости растворов основывалось на методе Стокса и проводилось на экспериментальной установке (рис. 1). Скорость осаждения минеральной части была показателем эффективности процесса.

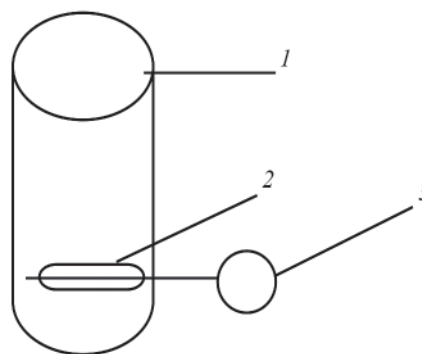


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 — пластиковая труба; 2 — геркон; 3 — электронный секундомер

Fig. 1. The diagram of an experimental unit: 1 — plastic pipe; 2 — reed switch; 3 — electronic timer

В верхнее отверстие заполненного модельным раствором (табл. 2) цилиндра высотой 2 м, внутренним диаметром 10 см запускали намагниченный стальной шарик диаметром 2 мм. Начало спуска проводилось одновременно с запуском секундомера. Замыкание установленного на дне трубки геркона сигнализировало о контакте шарика с дном и останавливало секундомер. По времени прохождения шарика вдоль трубки рассчитывалась скорость осаждения при естественной биодеструкции (3 эксперимента), затем при деструкции с добавлением ПД концентрацией 3 % (3 эксперимента).

Гранулометрический состав высушенной минеральной части образцов высококонцентрированных БСВ представлен в табл. 3.

Основную массу минеральной части БСВ составляют частицы размером менее 0,25 мм. Они

Табл. 2. Состав модельного раствора

Table 2. The composition of a standardized test solution

Показатель Parameter	Концентрация, % мас Concentration, % mas.
Твердая фаза (песок, бентонит) Solid phase (sand, bentonite)	1,2
Вода / Water	95,8
Полисахариды Polysaccharides	3

легче других и достаточно жестко включаются в полимерную матрицу. Скорость осаждения частиц данной фракции будет являться лимитирующей. С помощью электронной микроскопии определен размер наименьшей фракции глинистых частиц — 500 нм. Однако в связи с агломерацией глинистых частиц при намокании и давлении в процессе работы наименьший размер частиц данной фракции принимался равным 0,1 мм. Дальнейший расчет скорости осаждения проводился для усредненного диаметра частиц преобладающей фракции, равного 0,17 мм.

На следующем этапе исследования осуществлялись на модельных растворах с определенной заданной концентрацией полисахаридов (табл. 4). Условная вязкость растворов, подвергающихся естественной биодеструкции, сравнивалась с условной вязкостью растворов, содержащих биостимуляторы.

Табл. 4. Состав модельных растворов

Table 4. Composition of standardized test solutions

% мас. полисахарида % mas. for polysaccharide	0,5 1 2 3	% мас. ПД/свежей застарелой % mas. of fresh / old BW				% мас. ФП EP % mas.				Количество измерений/Всего измерений по каждому раствору Number of measurements/ Total measurements for each solution
		11	33	5	10	0,1	0,25	0,5	1	
КМЦ СМС	0,5									3/36
	1	11	33	5	10	0,1	0,25	0,5	1	3/36
	2									3/36
	3									3/36
Гуаровая камедь Guar gum	0,5									3/36
	1	11	33	5	10	0,1	0,25	0,5	1	3/36
	2									3/36
	3									3/36
Ксантан Xanthan	0,5									3/36
	1	11	33	5	10	0,1	0,25	0,5	1	3/36
	2									3/36
	3									3/36

Табл. 3. Гранулометрический состав минеральной части БСВ

Table 3. Size of BWW solid components

d фракции, мм Diameter, mm	% мас. % mas.
> 5	2
> 2	6
> 1	8
> 0,5	8
> 0,25	4
< 0,25	72

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 2, а показано изменение скорости осаждения металлического шарика при естественной биодеструкции и с применением ПД, которая рассчитывалась с помощью экспериментальной установки по методу Стокса.

Скорость осаждения частиц диаметром 0,17 мм определялась по уравнению Стокса:

$$V = \frac{2}{9} gr^2 \frac{\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}}{\mu},$$

где r — радиус частицы ($8,5 \cdot 10^{-5}$ м); $\rho_{\text{ч}}$ — плотность частицы (1900 кг/м^3); $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкой фазы (1100 кг/м^3); μ — динамическая вязкость жидкой фазы ($3 \text{ кг/м}\cdot\text{с}$).

Таким образом, средняя скорость осаждения минеральной части БСВ при наибольшем значении вязкости составит $4,2 \cdot 10^{-6}$ м/с. Время, за которое

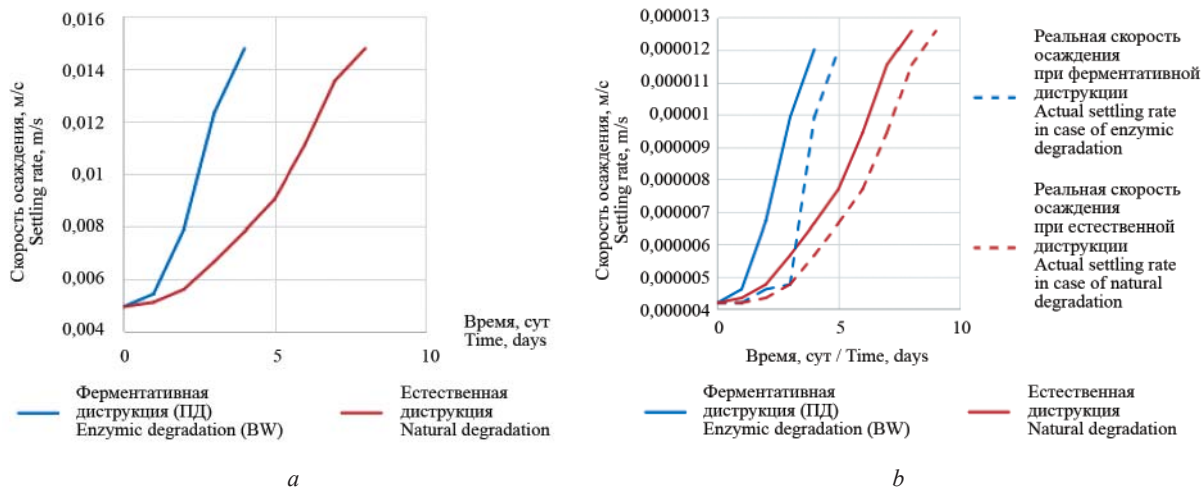


Рис. 2. Изменение скорости осаждения металлического шарика при естественной биодеструкции и с применением ПД (a); изменение теоретически рассчитанной и реальной скорости осаждения частицы при естественной биодеструкции и с применением ПД (b)

Fig. 2. Metal ball settling rate in cases of natural biological degradation and BW use (a); theoretically calculated and actual rates of particle settling in cases of natural biological degradation and BW use (b)

частица теоретически преодолет расстояние в 1 м глубины, составит приблизительно 66 ч или 3 суток. Однако рассчитанную скорость осаждения, согласно закону Стокса, будет иметь изолированная частица, а ее скорость не будет постоянной в связи с изменением вязкости среды. Следовательно, данное уравнение применимо лишь для ориентировочного определения времени осаждения.

По изменению значения скорости осаждения металлического шарика определялось изменение значения динамической вязкости жидкости за определенный промежуток времени. Полученные значения динамической вязкости подставлялись в уравне-

ние для определения реальной скорости осаждения твердой частицы диаметром 0,17 мм.

На рис. 2, b представлено изменение теоретически рассчитанной и реальной скоростей осаждения частицы при естественной биодеструкции и с применением ПД.

Таким образом, в реальных условиях процесс осаждения минеральных примесей характеризуется большей продолжительностью по времени.

На графиках (рис. 3, 4) приведены результаты исследований, проводимых на модельных растворах КМЦ с определенной заданной концентрацией полисахаридов.

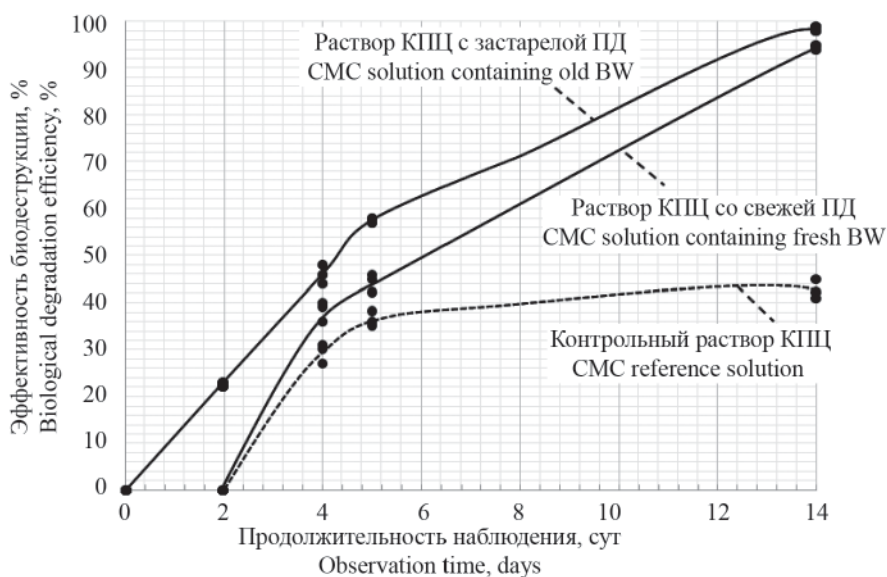


Рис. 3. Эффективность биодеструкции в анаэробных условиях

Fig. 3. Efficiency of biological degradation under anaerobic conditions

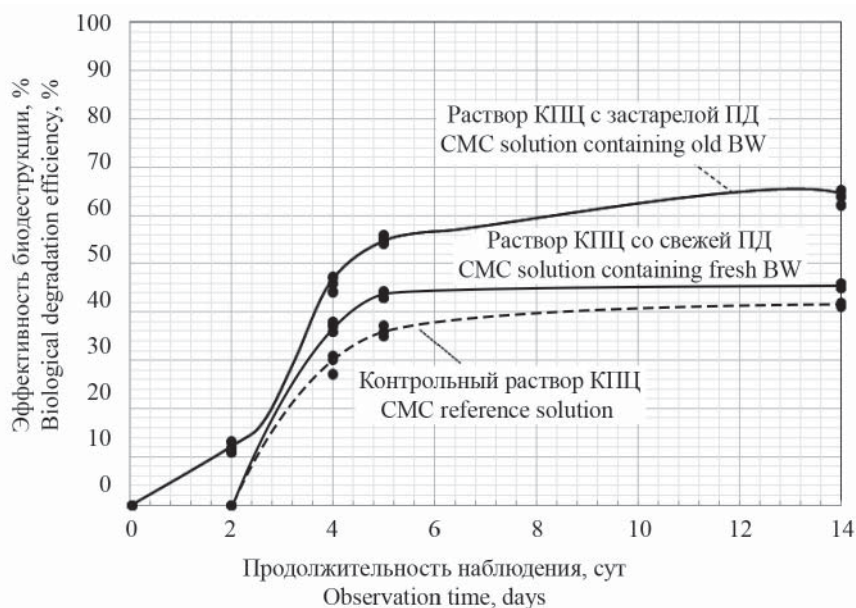


Рис. 4. Эффективность биодеструкции в аэробных условиях

Fig. 4. Efficiency of biological degradation under aerobic conditions

Представлены усредненные показатели эффективности работы пивной дробины в качестве биостимулятора по всем исследуемым концентрациям КМЦ в растворе (0,5, 1, 2, 3 % мас.) по результатам 24-х серий экспериментов (со свежей ПД и застарелой ПД).

Эффективность биодеструкции полисахаридов высококонцентрированных сточных вод определялась по проценту отделения жидкой фазы, что соответствует классической методике определения эффективности процесса отстаивания.

Процесс биодеструкции растворов КМЦ в естественных условиях начался по прошествии двух суток, достиг эффективности 38 % на 5-е сут и вплоть до 14-го дня наблюдения оставался практически неизменным (до 40 %). Гидролиз раствора, в который добавляли свежую ПД, так же начался на 2-е сут, но к 14-му дню наблюдения почти вся КМЦ в растворе подверглась деструкции. Добавление в раствор застарелой ПД спровоцировало деструкцию молекул КМЦ уже с первых часов экспериментов, и к 14-му дню эффективность биодеструкции достигла 98 %.

В аэробных условиях процесс протекал аналогичным образом, но эффективность биодеструкции ниже, чем при осуществлении процесса в анаэробных условиях. По итогу наблюдения в случае со свежей ПД эффективность составила 43 %, с застарелой ПД — 65 %.

В дальнейших экспериментах исследования проводились с застарелой ПД в анаэробных условиях.

О гидролизе полисахаридов свидетельствовало изменение кинематической вязкости раствора после добавления отхода застарелой ПД.

При определении изменения вязкости растворов КМЦ, гуаровой камеди и ксантановой камеди в отдельности с использованием ПД в анаэробных условиях установлено, что микробиота ПД способствовала деструкции макромолекул гуаровой камеди и КМЦ, которая протекала примерно в 2 раза быстрее, чем при естественном гидролизе. Раствор ксантановой камеди оказался устойчив к применению ПД.

Результаты изменения вязкости растворов по всем концентрациям (0,5, 1, 2, 3 % мас.) усреднены и представлены на графиках (рис. 5).

Замечено, что добавление ПД понижало значение pH раствора на одну единицу в течение первых 5 мин и на 2 ед. — по прошествии суток.

При добавлении готового ФП установлено, что растворы КМЦ и гуаровой камеди в течение нескольких минут становились маловязкими как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Добавление даже избыточного количества фермента в раствор ксантана не повлияло на изменение скорости его гидролиза (табл. 1).

Добавление ФП приводило к повышению кислотности среды, значение pH раствора снижалось сразу после его добавления на 2 ед.

При исследовании влияния значения pH-среды на процесс естественной биодеструкции и деструкции с применением биостимуляторов растворов КМЦ и гуаровой камеди установлено, что чем больше кислотность среды, тем быстрее протекает процесс.

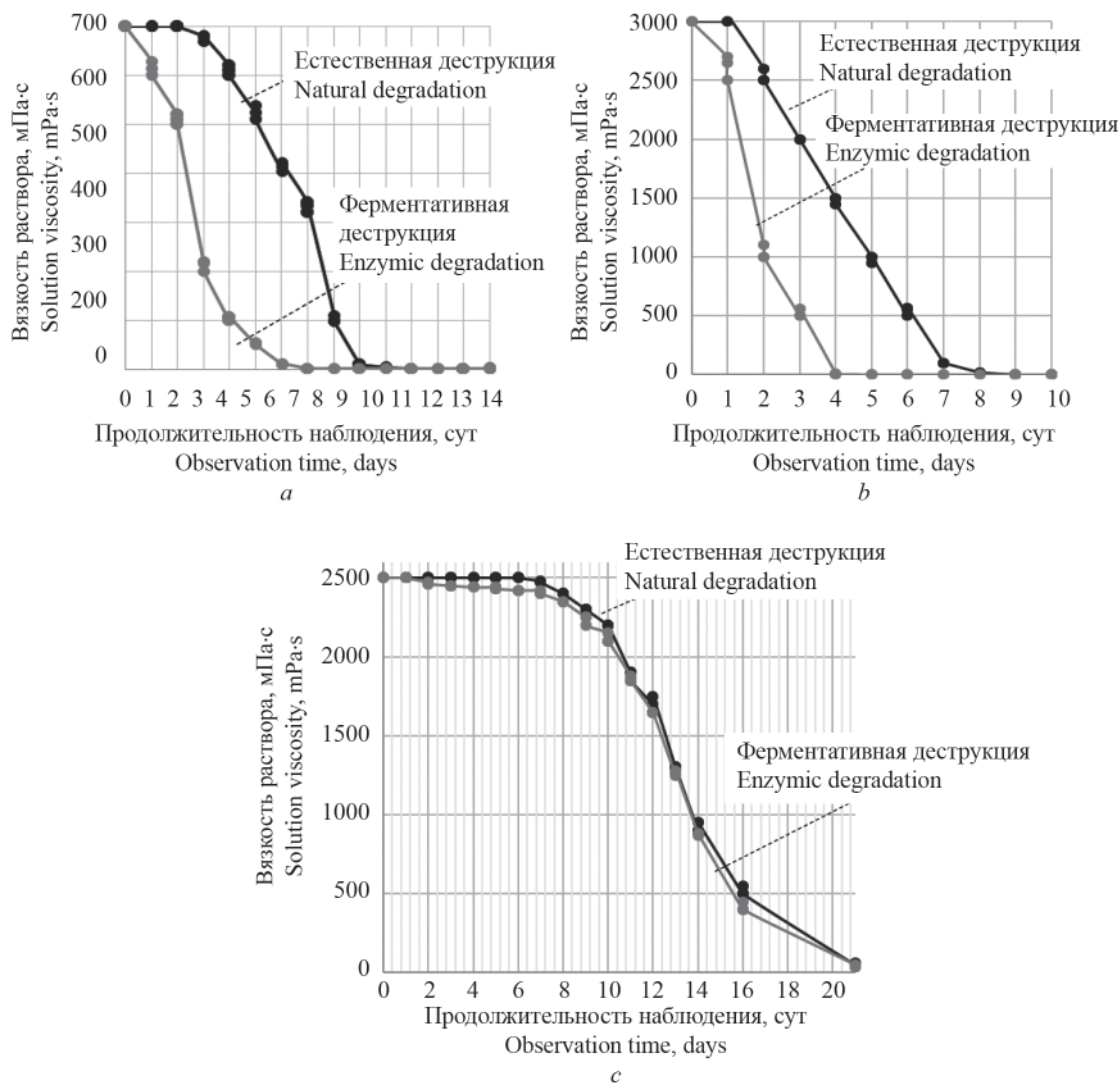


Рис. 5. Изменение вязкости растворов при естественной и ферментативной деструкции с использованием ПД: *a* — раствор КМЦ; *b* — раствор гуаровой камеди; *c* — раствор ксантановой камеди

Fig. 5. Solution viscosity in cases of natural and enzymic degradation involving BW: *a* — CMC solution; *b* — guar gum solution; *c* — xanthane gum solution

Табл. 5. Усредненные значения эффективности биодеструкции с использованием ФП

Table 5. Averaged values of biological degradation efficiency involving EP

Время обработки, мин Ttreatment time, min	Эффективность ферментативной деструкции, % Efficiency of enzymic degradation, %											
	с (КМЦ), % мас. involving (CMC), % mas.				с (Гуар), % мас. involving (guar gum), % mas.				с (Ксантан), % мас. involving (xanthane gum), % mas.			
	0,5	1	2	3	0,5	1	2	3	0,5	1	2	3
5	100	100	100	100	50	40	30	22	0	0	0	0
10	—				80	80	70	55	0	0	0	0
20					100	100	100	100	0	0	0	0
30	—				—				0	0	0	0
60									0	0	0	0

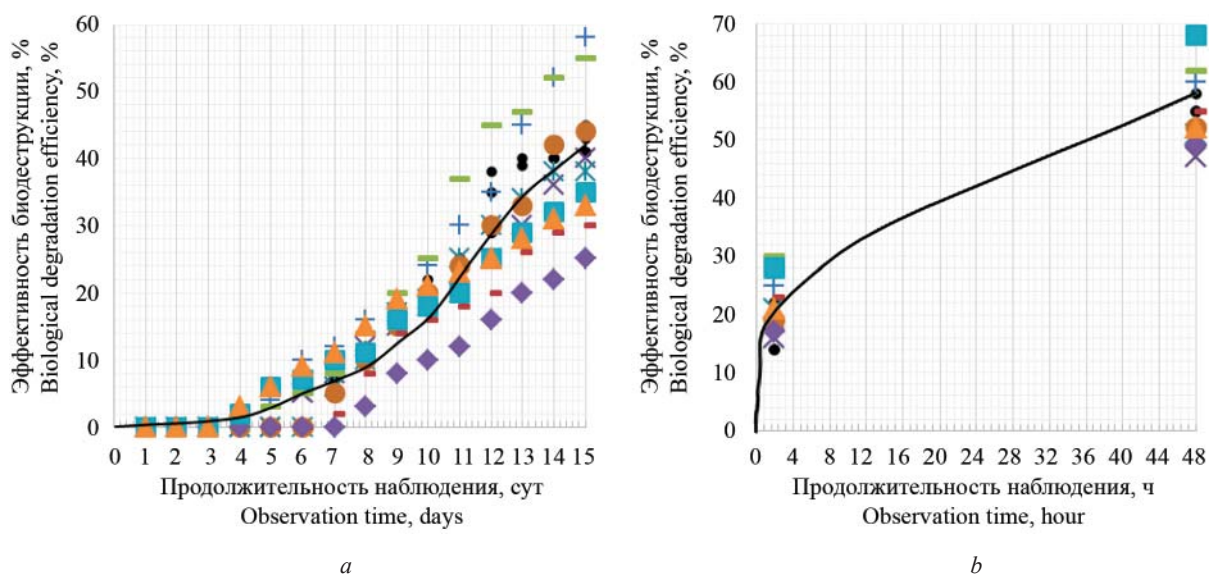


Рис. 6. Эффективность процесса с применением ПД (а); эффективность процесса с применением ФП (б)
 Fig. 6. Process efficiency in case of BW use (a); Process efficiency in case of EP use (b)

На рис. 6, а, б и отражены результаты определения эффективности биодеструкции высококонцентрированных БСВ (12 проб) с Карачаганакского месторождения (Западно-Казахстанская область), Правдинского и Усть-Балыкского месторождений (Ханты-Мансийский АО) с использованием ПД и ФП, соответственно, в анаэробных условиях. В каждой пробе был разный качественный и количественный состав полисахаридов, процент твердой фазы. Результаты, представленные на графиках, свидетельствуют об эффективной работе биостимуляторов. Процент отделения жидкой фазы у всех контрольных проб к концу наблюдения варьировался в пределах 6–9 %, в то время как в пробах с биостимуляторами: 27–59 % с ПД на 15 сут и 45–68 % с ФП на 2 сут.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы.

Экспериментально выявлена способность биохимических стимуляторов (ПД и ФП) интенсифицировать гидролиз растворов полисахаридов, используемых при приготовлении буровых растворов. Установлено увеличение скорости биодеструк-

ции растворов КМЦ и гуаровой камеди на 30–50 % (по сравнению с естественной биодеструкцией) при использовании ПД. Полная деполимеризация растворов КМЦ и гуаровой камеди происходит спустя 5 и 20 мин, соответственно, при использовании ФП. Эффективность биоразложения наибольшая при использовании застарелой ПД и при осуществлении процесса в анаэробных условиях.

Экспериментально доказана эффективность очистки высококонцентрированных БСВ, содержащих полисахариды, от минеральных примесей под воздействием ПД и готового ФП в отдельности.

На основании исследования времени осаждения частиц твердой фазы высококонцентрированных БСВ по методу Стокса с помощью экспериментальной установки при естественной и ферментативной деструкции были выявлены отклонения в значениях, полученных теоретически и практически.

Таким образом, предложен новый теоретически обоснованный и экспериментально доказанный биологический способ очистки от минеральных примесей высококонцентрированных БСВ, содержащих полисахариды, составляющий более дешевую и экологичную альтернативу существующим решениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орешкин Д.В., Сахаров Г.П., Чеботарев А.Н., Курбатова А.С. Геоэкологические проблемы утилизации бурового шлама на Ямале // Вестник МГСУ. 2012. № 2. С. 125–129. DOI: 10.22227/1997-0935.2012.2.125-129

2. Su X., Feng Y. Thermoviscosifying smart polymers for oil and gas production: state of the art // ChemPhysChem. 2018. Vol. 19. Issue 16. Pp. 1941–1955. DOI: 10.1002/cphc.201800190

3. Овчинников В.П., Семенов А.Ф., Овчинников П.В. Выбор эффективных полимеров путем анализа их влияния на основные параметры буровых растворов // Бурение и нефть. 2016. № 11. С. 34–36.
4. Зайнуллина А.Ш., Песириди Я.Ю. Исследование реологических параметров полисахаридов в буровых растворах // Вестник Алматинского технологического университета. 2016. № 4. С. 103–107.
5. Villada Y., Gallardo F., Erdmann E., Casis N., Olivares L., Estenoz D. Functional characterization on colloidal suspensions containing xanthan gum (xgd) and polyanionic cellulose (pac) used in drilling fluids for a shale formation // Applied Clay Science. 2017. Vol. 149. Pp. 59–66. DOI: 10.1016/j.clay.2017.08.020
6. Ланина Т.Д. Применение природных сорбентов для очистки буровых сточных вод // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2009. № 9. С. 55–56.
7. Ланина Т.Д., Быков И.Ю., Селиванова Е.С., Носов Г.А., Донин С.Н. Эффективность работы титансодержащих коагулянтов при очистке буровых сточных вод // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2016. № 9. С. 30–35.
8. Минеев И.М., Щербаков М.В. Очистка буровых сточных вод методом адсорбции // Совершенствование методологии познания в целях развития науки : сб. статей по итогам Междунар. науч.-практ. конф. (Челябинск, 26 мая 2018 г.) / в 2-х ч. Ч. 1. Стерлитамак : АМИ, 2018. С. 30–32. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34933349>
9. Гамм Т.А., Шабанова С.В., Сердюкова Е.А. Разработка способа очистки буровых сточных вод методом коагуляции // Синергия Наук. 2018. № 23. С. 1149–1157.
10. Щербаков М.В., Минеев И.М. Определить эффективность реагентного метода с применением термической обработки для очистки буровых сточных вод // Научно-техническое творчество: проблемы и перспективы : сб. статей по итогам Междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 04 июня 2018 г.). Стерлитамак : АМИ, 2018. С. 145–148. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35066036>
11. Щербаков М.В., Минеев И.М. Очистка буровых сточных вод методом флотации // Научные механизмы решения проблем инновационного развития : сб. статей по итогам Междунар. науч.-практ. конф. (Уфа, 22 мая 2018 г.) / в 2 ч. Ч. 2. Стерлитамак : АМИ, 2018. С. 114–116. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34923476>
12. Тарасова Т.Ф., Назаров С.В., Алеева О.Н. Очистка буровых сточных вод от механических примесей при помощи реоцентрифуги с двухсвязной коробкой скоростей // Современные проблемы экологии : тез. докл. XIV Междунар. науч.-техн. конф. Тула : Изд-во Инновац. технологии, 2016. С. 62–64.
13. Мустаева А.И. Утилизация буровых отходов // World science: problems and innovations : сб. ст. победителей VIII Междунар. науч.-практ. конф. : в 2-х частях. Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2017. С. 107–110. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28877143>
14. Идрисов Р.Х., Масагутов Р.Ф. Физические методы обезвреживания отходов бурения // Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях. 2018. № 12. С. 65–69.
15. Ibraeva V.A., Safarov A.H., Halikova D.K. Modern drilling waste disposal methods // Обращение с отходами: современное состояние и перспективы : сб. ст. Всеросс. науч.-практ. конф. / под ред. И.О. Туктаровой. Уфа, 2018. С. 172–176.
16. Fetsets R.M., Anokhin V., Ovalle A., Still V., Blyus D., Shokanov T. et al. Meeting the challenges of waste disposal in the mainland of Russia — successful design and implementation of the first full-scale drilling waste injection project in western Siberia // Middle East Drilling Technology Conference & Exhibition. 2009. Pp. 211–216. DOI: 10.2118/125424-MS
17. Нургалеев Е.Р. Технология утилизации производственных отходов месторождений нефти и газа Северного Каспия (буровой шлам) с точки зрения промышленной безопасности // Вестник НЦБЖД. 2017. № 1. С. 140–144.
18. Джалалов В.З.О. Анализ современных методов утилизации отработанных буровых растворов и шламов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. № 9. С. 29–35.
19. Clements K., Veil J.A., Leuteran A.J.J. Global practices and regulations for land application and disposal of drill cuttings and fluids // SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. 2010. Pp. 830–839. DOI: 10.2118/126565-MS
20. Zha X., Liao X., Zhao X., Liu F., He A.Q., Xiong W.X. Turning waste drilling fluids into a new, sustainable soil resources for landscaping // Ecological Engineering. 2018. Vol. 121. Pp. 130–136. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.06.026
21. Ball A.S., Stewart R.J., Schliephake K. A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings // Waste Management & Research. 2012. Vol. 30. Issue 5. Pp. 457–473. DOI: 10.1177/0734242X11419892
22. Atefatdoost M., Farahbod F. Introduction of a novel method for treating of drilling waste water // Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology. 2016. Vol. 7. Issue 5. DOI: 10.4172/2157-7463.1000302
23. Беляков А.Ю., Плешакова Е.В. Скрининг микроорганизмов-деструкторов компонентов буровых растворов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2013. Т. 13. № 4. С. 37–42.

Поступила в редакцию 25 октября 2019 г.

Принята в доработанном виде 7 августа 2020 г.

Одобрена для публикации 31 августа 2020 г.

ОБ АВТОРАХ: Елена Викторовна Масленникова — аспирант кафедры химическая технология и промышленная экология; Самарский государственный технический университет (СамГТУ); 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244; SPIN-код: 5584-5156, Scopus: 56491353900, ORCID: 0000-0001-8773-8021; levlen13@rambler.ru;

Василий Васильевич Ермаков — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры химическая технология и промышленная экология; Самарский государственный технический университет (СамГТУ); 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244; РИНЦ ID: 739680, Scopus: 57191377610, ResearcherID: D-6104-2014, ORCID: 0000-0001-7720-2418; wassiliy@rambler.ru.

REFERENCES

- Oreshkin D.V., Saharov G.P., Chebotaev A.N., Kurbatova A.S. Geo-ecological problems of drilling waste disposal in the Yamal Peninsula. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2012; 2:125-129. DOI: 10.22227/1997-0935.2012.2.125-129 (rus.).
- Su X., Feng Y. Thermoviscosifying smart polymers for oil and gas production: state of the art. *ChemPhysChem*. 2018; 19(16):1941-1955. DOI: 10.1002/cphc.201800190
- Ovchinnicov V.P., Semenenko A.F., Ovchinnikov P.V. Choice of effective polymers in the way analysis of their influence on the main parameters of boring solutions. *Drilling and Oil*. 2016; 11:34-36. (rus.).
- Zainullina A.Sh., Pesiridi Ya.Yu. Research of rheological parameters of polysaccharides in drilling fluids. *Proceedings of the Almaty technological University*. 2016; 4:103-107. (rus.).
- Villada Y., Gallardo F., Erdmann E., Casis N., Olivares L., Estenoz D. Functional characterization on colloidal suspensions containing xanthan gum (xgd) and polyanionic cellulose (pac) used in drilling fluids for a shale formation. *Applied Clay Science*. 2017; 149:59-66. DOI: 10.1016/j.clay.2017.08.020
- Lanina T.D. Usage natural sorbents required for purification of drilling waste water. *Construction of Oil and Gas Wells on Land and at Sea*. 2009; 9:55-56. (rus.).
- Lanina T.D., Bykov I.Yu., Selivanova E.S., Nosov G.A., Donin S.N. Efficiency of titanium-containing coagulants in drilling wastewater treatment. *Construction of Oil and Gas Wells on Land and at Sea*. 2016; 9:30-35. (rus.).
- Mineev I.M., Shcherbakov M.V. Cleaning of drilling waste waters by adsorption. *Improvement of methodology of knowledge in development science : collection of articles on the results of the International scientific and practical conference*. (Chelyabinsk, May 26, 2018) / at 2 parts. Part 1. Sterlitamak, AMI publ., 2018; 30-32. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34933349> (rus.).
- Gamm T.A., Shabanov S.V., Serdyukov A.E. Development of method of drilling wastewater treatment by coagulation. *Synergy of Sciences*. 2018; 23:1149-1157. (rus.).
- Shcherbakov M.V., Mineev I.M. To determine the effectiveness of the chemical method with the use of heat treatment for cleaning of drilling waste waters. *Scientific-technical creativity: problems and prospects : collection of papers in the International scientific-practical conference*. (Novosibirsk, June 04, 2018). Sterlitamak, AMI publ, 2018; 145-148. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35066036> (rus.).
- Shcherbakov M.V., Mineev I.M. Purification of drilling waste water by flotation method. *The scientific mechanisms of solving problems of innovative development : collection of articles in the International scientific-practical conference*. (Ufa, May 22, 2018) / at 2 parts, Part 2. Sterlitamak, AMI publ, 2018; 114-116. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34923476> (rus.).
- Tarasova T.F., Nazarov S.V., Aleeva O.N. Purification of drilling waste water from mechanical impurities with the help of recentrifuged with two-way transmission. *Modern problems of ecology: abstracts of the XIV International scientific and technical conference*. Tula, Publishing house Innovative technologies, 2016; 62-64. (rus.).
- Mustaeva A.I. Disposal of drilling waste. *World science: problems and innovations: a collection of articles of the winners of the VIII International scientific-practical conference: in 2 parts*. Penza, ICNS "Science and Education", 2017; 107-110. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28877143> (rus.).
- Idrisov R.Kh., Masagutov R.F. Physical methods of drilling waste disposal. *Health and Safety at Industrial Enterprises*. 2018; 12:65-69. (rus.).
- Ibraeva V.A., Safarov A.H., Halikova D.K. Modern drilling waste disposal methods. *Waste Management: current state and prospects : collection of articles of the all-Russian scientific and practical conference* / ed. by I.O. Tuktarova. Ufa, 2018; 172-176.

16. Fetsets R.M., Anokhin V., Ovalle A., Still V., Blyus D., Shokanov T. et al. Meeting the challenges of waste disposal in the mainland of Russia — successful design and implementation of the first full-scale drilling waste injection project in western Siberia. *Middle East Drilling Technology Conference & Exhibition*. 2009; 211-216. DOI: 10.2118/125424-MS
17. Nurgaliyev E.R. Technology of utilization of production waste from oil and gas deposits of the north Caspian (drilling sludge) from the industrial safety indication point. *Bulletin SCLS*. 2017; 1:140-144. (rus.).
18. Jalalov V.Z.O. Analysis of modern methods of waste drilling muds and cuttings recycling. *Environmental Protection in the Oil and Gas Complex*. 2011; 9:29-35. (rus.).
19. Clements K., Veil J.A., Leuterman A.J.J. Global practices and regulations for land application and disposal of drill cuttings and fluids. *SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production*. 2010; 830-839. DOI: 10.2118/126565-MS
20. Zha X., Liao X., Zhao X., Liu F., He A.Q., Xiong W.X. Turning waste drilling fluids into a new, sustainable soil resources for landscaping. *Ecological Engineering*. 2018; 121:130-136. DOI: 10.1016/j.ecoeng.2017.06.026
21. Ball A.S., Stewart R.J., Schliephake K. A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings. *Waste Management & Research*. 2012; 30(5):457-473. DOI: 10.1177/0734242X11419892
22. Atefatdoost M., Farahbod F. Introduction of a novel method for treating of drilling waste water. *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*. 2016; 7(5). DOI: 10.4172/2157-7463.1000302
23. Belyakov A.Yu., Pleshakova E.V. Screening of microorganisms-destroyers of the components of the drilling fluid. *Bulletin of Saratov University. New series. Series: Chemistry. Biology. Ecology*. 2013; 13(4):37-42. (rus.).

Received October 25, 2019.

Adopted in revised form on August 7, 2020.

Approved for publication on August 31, 2020.

B I O N O T E S: **Elena V. Maslennikova** — postgraduate student of the Department of Chemical Technology and Industrial Ecology; **Samara State Technical University (SSTU)**; 244 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; SPIN-code: 5584-5156, Scopus: 56491353900, ORCID: 0000-0001-8773-8021; levlen13@rambler.ru;

Vasilii V. Ermakov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technology and Industrial Ecology; **Samara State Technical University (SSTU)**; 244 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; ID RISC: 739680, Scopus: 57191377610, ResearcherID: D-6104-2014, ORCID: 0000-0001-7720-2418; wassiliy@rambler.ru.

К вопросу учета ползучести бетона в грунтовой среде

З.Г. Тер-Мартirosян¹, В.В. Бахмисов²

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

²НИИОСП им. Герсеванова — АО «НИЦ «Строительство»; г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Одной из проблем расчета железобетонных конструкций в геотехнике является учет ползучести бетона со спецификой грунтовых условий. Данная работа ставит цель показать эту проблему и наметить пути ее решения.

Материалы и методы. В ходе исследования был применен метод конечных элементов и выполнен обзор работ по различным аспектам проблемы.

Результаты. Наиболее наглядно ползучесть бетона стены в грунте проявляется в ее прогибах и усилиях в распорках, а в сваях — на распределении продольного осевого усилия по длине. Показано, что с точки зрения технологии выполнения работ следует выделить устройство грунтовых выработок под защитой глинистого раствора. В этом случае на контакте грунт — бетон образуется водонасыщенная глинистая корочка с рядовой толщиной порядка 5–10 мм. Глинистая корочка сохраняет свою проницаемость для воды постоянно на некотором значении, зависящем от давления и времени нагнетания, поэтому не может считаться абсолютной изоляцией бетона в выработке от фильтрационного потока воды. После заливки бетонной смеси в выработку происходит консолидация водонасыщенной глинистой корочки, что позволяет сделать вывод о ее паронепроницаемости.

Выводы. При степени водонасыщения $S_r > 0,5–0,6$ и устройстве выработки под защитой глинистого раствора относительную влажность воздуха грунтовой среды RH можно считать равной 100 %, а при $S_r < 0,5–0,6$ RH следует рассчитывать. Решение задачи по установлению весовой влажности бетона в зависимости от относительной влажности воздуха, фильтрационного потока грунтовых вод и влияния глинистой корочки на контакте грунт — бетон позволяет учесть влияние на ползучесть бетона грунтовых условий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ползучесть бетона, жесткость железобетонной конструкции, жесткость сваи, жесткость стены в грунте, глинистая корочка, относительная влажность грунтовой атмосферы, водяной пар в грунте

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Тер-Мартirosян З.Г., Бахмисов В.В. К вопросу учета ползучести бетона в грунтовой среде // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 9. С. 1285–1296. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1285-1296

To the question of concrete creep in the soil environment

Zaven G. Ter-Martirosyan¹, Viktor V. Bakhmisov²

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

²Gersevanov Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP) —
“Research Center of Construction” JSC; Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Concrete creep coupled with specific soil properties represent a problem for the analysis of reinforced concrete structures in geotechnical engineering. The mission of this research is to make a problem statement and to outline its potential solutions.

Materials and methods. In the course of the research, the finite element method was applied and the review of works, covering various problem aspects, was performed.

Results. Concrete creep in respect of a diaphragm wall is most vividly manifested in deflections and stresses in struts; as for piles, concrete creep is manifested by the longitudinal axial force distribution along the length. The co-authors have demonstrated that is necessary to single out the excavations device under bentonite slurry protection from the viewpoint of the construction technology. In this case, a 5–10 mm thick water-saturated filter cake is formed at the contact between soil and concrete. The filter cake retains its permanent water penetrability at some level that depends on pressure and injection time; therefore, concrete in trench cannot be considered isolated from filtration water flows. Following the concrete mix casting into the trench, water saturated filter cake is consolidated, and this enables the authors to make a conclusion about its resistance to vapour penetration.

Conclusions. If water saturation is equal to $S_r > 0.5–0.6$ and if excavation works are performed under the protection of the bentonite slurry, relative air humidity of soil RH can be considered to be equal to 100 %, and if water saturation $S_r < 0.5–0.6$, RH needs to be analysed. Identification of concrete moisture content depending on relative air humidity, the groundwater filtration flow and influence of the filter cake at the contact between ground and concrete make it possible to take account of the effect of soil conditions on concrete creep.

KEYWORDS: concrete creep, reinforce concrete structure stiffness, pile stiffness, diaphragm wall stiffness, bentonite filter cake, relative humidity of the soil environment, water vapour in soil

FOR CITATION: Ter-Martirosyan Z.G., Bakhmiso V.V. *To the question of concrete creep in the soil environment. Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(9):1285-1296. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1285-1296 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из проблем расчета железобетонных геотехнических конструкций, твердевших в грунтовых выработках, является определение деформаций ползучести бетона при нагружении. Проблема неоднократно всплывает в различных трудах, некоторые из которых мы покажем далее.

Деформации ползучести являются неотъемлемой частью нелинейной работы железобетона. Влияние учета нелинейной деформации в задачах взаимодействия здания и основания показано в работах Н.А. Евсеева [1, 2]. Согласно этим данным, учет нелинейной работы железобетона приводит к более реалистичным результатам взаимодействия здания и основания. При этом отмечается, что наименее трудоемким является применение коэффициентов, понижающих жесткость железобетонных элементов и приведенных в различных нормативных документах, таких как СП 52-103–2007, СП 63.13330.2018, СП 430.1325800.2018, СНБ 5.03.01-02, BS EN 1992-1-1:2004+A1:2014, ACI 318-19, NZS 3101.1&2:2006, CSA A23.3:19, ABNT NBR 6118:2003, IS 456:2000 и NEN 6720:1995/A3:2004.

В работе К. Li et al. [3] была проведена масштабная экспериментально-теоретическая работа по исследованию ранневозрастных напряжений в стене в грунте с учетом ползучести бетона при растяжении. В ходе эксперимента был установлен закон ползучести на полномасштабной модели стены в грунте и проведен термомеханический анализ для расчета температуры бетона и эволюции напряжений в раннем возрасте.

Исследование P.J. Bourne-Webb [4] по экспериментальному исследованию деформаций ползучести в свае по длине под влиянием статической нагрузки показало, что влияние ползучести бетона значительно, и его учет необходим. Например, в ходе эксперимента учет ползучести бетона при интерпретации показаний датчиков деформаций позволил снизить осевые усилия на несколько сотен килоньютон.

В статье D. Kim et al. [5] деформация сваи разделяется на упругую усадку и ползучесть бетона, величины которых вычисляются в зависимости от относительной влажности воздуха в течение десяти лет.

В работе А.А. Truty [6] были исследованы эффекты от устройства панелей стены в грунте с учетом ползучести и трещинообразования бетона, а также технологической последовательности устройства ограждения, включая откопку траншеи, заполнения ее бентонитовым раствором и последующего бетонирования.

Оценка перемещений грунтового основания и конструктивных элементов при откопке котлована методом top-down под защитой стены в грунте была выполнена в труде Y. Dong et al. [7]. В ней со ссылкой на С. Ou [8] отмечается, что на жесткость железобетонных конструкций может оказывать влияние, в частности, ползучесть бетона.

Работа R. Soekhoe [9] учитывает снижение жесткости стены в грунте за счет ползучести бетона и трещинообразования при расчете конструкции опоры железнодорожного моста в г. Неймеген, Нидерланды.

Руководство [10] указывает, что изгибная жесткость EI железобетонных подпорных стен изменяется во времени. За счет ползучести и релаксации напряжений жесткость снижается на 50 % от начального значения для сечения без трещин. Указывается, что изгибная жесткость ограждения должна быть рассчитана для каждого этапа строительства и эксплуатации сооружения, и обычно считается целесообразным снижать EI на 30 % для стадии строительства (кратковременная жесткость) и на 50 % на стадии эксплуатации (длительная жесткость).

Как видно из обзора представленных выше работ, данная тема представляет интерес для геотехников как с точки зрения работы конструкции в отдельности, так и при совместном расчете системы основание — сооружение. Однако особенностей воздействия грунтовых условий в методиках определения ползучести бетона не учитывает ни одна из проанализированных работ, что говорит об открытости проблемы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Чтобы показать качественное влияние ползучести бетона как фактора, пока не затрагивая влияние грунтовых условий, рассмотрим взаимодействие стены в грунте траншейного типа с четырьмя ярусами распорок и условным зданием недалеко от бровки в расчете методом конечных элементов. Для простоты будем рассматривать стену в грунте без трещин в растянутой зоне, а учет усадки оставим за рамками настоящей статьи. В этом случае изгибная жесткость балки может быть определена по следующему уравнению, приведенному в СП 63.13330.2018:

$$D = E_{b1} I_{red}, \quad (1)$$

где E_{b1} — модуль деформации сжатого бетона, определяемый в зависимости от продолжительности действия нагрузки и с учетом наличия или отсутствия трещин; I_{red} — момент инерции приведенного

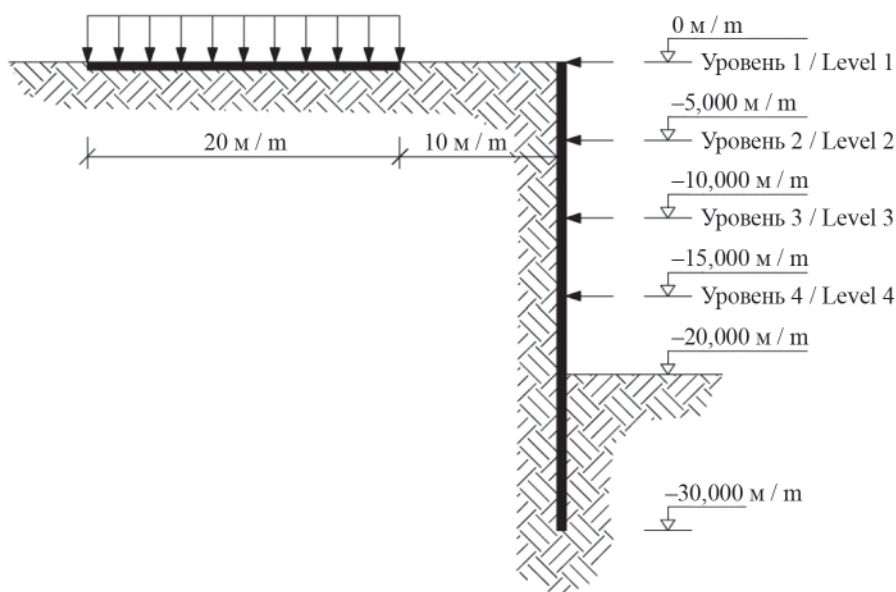


Рис. 1. Рассмотренная расчетная схема

Fig. 1. Considered design model

поперечного сечения относительно его центра тяжести, определяемый с учетом наличия или отсутствия трещин.

Тогда для стены в грунте с коэффициентом армирования $\mu = 2\%$, начальным модулем упругости бетона $E_0 = 30$ ГПа и секущим модулем деформации с учетом ползучести $E_{b1} = 0,4E_0$ изгибная жесткость балки D на 1 погонный метр составит соответственно 564 и 226 МН·м²/м.

Расчеты выполнены в программном комплексе Plaxis 2D для изотропной однородной грунтовой среды на конечное стабилизированное состояние. Модель грунта Hardening-Soil со следующими характеристиками: $\gamma_{unsat} = 22$ кН/м³, $E_{50} = 25$ МПа, $E_{oed} = 23$ МПа, $E_{ur} = 75$ МПа, $m = 0,5$, $\nu_{ur} = 0,2$, $c = 50$ кПа, $\phi = 25^\circ$, $p_{ref} = 100$ кПа, $OCR = 3$. Распорки имеют одинаковую жесткость на сжатие 3895 кН и установлены с шагом в плане 5 м. Расчетная схема представлена на рис. 1.

Результаты расчета показывают следующее.

Рассматривая напряженно-деформированное состояние массива грунта, следует отметить, что перемещение модели здания на бровке котлована увеличилось, но незначительно — с 34,9 до 36,3 мм; коэффициент запаса устойчивости откоса вырос с 3,986 до 4,524.

Горизонтальные перемещения ограждения котлована ожидаемо возросли со снижением изгибной жесткости стены в грунте с 48,5 до 54,9 мм.

Изменение внутренних усилий в стене в грунте также хорошо заметно. В целом внутренние усилия снизились. Например, максимальный изгибающий момент стены в грунте в уровне дна котлована снизился с 850 до 474 кН·м, а максимальный изгибающий момент стены в грунте в уровне распорок, полученный на втором ярусе, уменьшился с 613 до 499 кН·м.

Анализ усилий в распорках, представленных в табл. 1, показывает, что при учете ползучести бетона происходит перераспределение усилий с ниж-

Табл. 1. Осевые усилия в распорных конструкциях

Table 1. Axial forces inside brace structures

Номер яруса Strut level	Осевые усилия в распорках на последней фазе расчета, кН Struts axial forces on last phase of calculation, kN		Отношение осевых усилий, д.е. Axial forces relationship, unit fraction
	Без учета ползучести Without Creep	С учетом ползучести With Creep	
1	487	637	1,31
2	4913	4930	1,00
3	6404	5931	0,93
4	6445	5483	0,85

них ярусов распорок на верхние. Первый ярус испытывает особенно сильный прирост осевого усилия, который составляет 31 %.

Таким образом, можно отметить, что в рассмотренном примере наиболее ярко влияние учета ползучести бетона стены в грунте сказывается на распорках. Прослеживается заметное увеличение действующих усилий в распорке первого яруса (31 %) и снижение в нижних ярусах (до 15 %).

Рассмотрев качественное влияние изучаемого эффекта, вернемся к процессу ползучести бетона, который обусловлен ползучестью цементного камня, заполнители же уменьшают ее пропорционально занимаемому ими объему [11].

Согласно гипотезе А.Е. Шейкина [11], ползучесть цементного камня обусловлена разрушением коагуляционных контактов в геле гидросиликатов кальция под действием поля напряжений и тепловых флуктуаций. По этой гипотезе на предельную меру ползучести бетона оказывают влияние все фундаментальные факторы, повышающие степень гидратации цемента к моменту загрузки и уровень начальных напряжений.

В соответствии с этим мы разделим факторы, выделяемые исследователями бетонов, на те, которые геотехники могут регулировать, и те, которые определяют грунтовые условия. К первым можно отнести следующие:

1. Возраст бетона в момент нагружения. Увеличение возраста бетона к моменту приложения статической нагрузки снижает деформации ползучести.
2. Модуль поверхности бетона, то есть отношение площади поверхности, открытой для испарения влаги, к объему конструкции, уменьшение которого приводит к росту меры ползучести бетона.
3. Уровень начальных напряжений σ_b/R_b влияет так, что нелинейность деформаций ползучести увеличивается с ростом действующего напряжения и уменьшением времени действия нагрузки.
4. Добавки в бетон. Введение в бетонную смесь воздухововлекающих или пенообразующих добавок, например повышающих морозостойкость, увеличивает деформации ползучести. Напротив, введение ускорителей твердения снижает их.
5. Крупность помола цемента. Ее уменьшение приводит к увеличению степени гидратации цемента и, соответственно, снижает меру ползучести бетона.
6. Расход цемента. С уменьшением водоцементного отношения В/Ц нарастает предельная мера ползучести.
7. Влажосодержание в бетоне в момент укладки. Наибольшая ползучесть отмечается при относительной весовой влажности 0,3–0,4.

Ко вторым можно отнести следующие:

1. Относительная влажность окружающего воздуха, с ростом которой снижается предельная мера ползучести.

2. Температура. Удельные деформации ползучести бетона, загруженного в зрелом возрасте, возрастают с увеличением температуры окружающей среды. При раннем нагружении бетона с повышением температуры окружающей среды удельные деформации ползучести бетона соответственно уменьшаются.

3. Геологическое строение основания.

В настоящее время при расчетах железобетонных конструкций распространено применение теории линейной ползучести бетона. Многочисленными исследованиями было подтверждено, что ползучесть можно считать линейной, если напряжения в бетоне σ_b составляют достаточно малую часть предела прочности бетона R_b . Принято обозначать указанную границу применимости теории линейной ползучести следующим образом:

$$\sigma_b = \eta R_b. \quad (2)$$

В работе И.И. Улицкого [12] отмечается, что значение уровня напряжений η при сжатии находится в пределах 0,3–0,6, а при растяжении может достигать 1,0. В работах О.Я. Берга [13] и А.Г. Тамразяна [14] отмечается, что при сжатии часто условно принимают $\eta = 0,5$. В работе С.В. Александровского [15] также отмечается, что при $\eta > 0,5$ следует применять аппарат нелинейной теории ползучести.

Известно, что полную деформацию с учетом фактора времени можно выразить как сумму упругой мгновенной деформации ε_0 и деформации ползучести $\varepsilon_n(t)$ в соответствии со следующей формулой:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \varepsilon_n(t). \quad (3)$$

Введя коэффициент ползучести бетона φ , равный отношению деформации ползучести $\varepsilon_n(t)$ к упругой мгновенной деформации ε_0 в момент времени t , И.И. Улицкий предложил следующую форму записи уравнения (3):

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \varphi_t \varepsilon_0. \quad (4)$$

Тогда из уравнения (4) мы с легкостью получаем уравнение секущего модуля деформации бетона в предельный момент времени, предлагаемое нам нормативным документом СП 63.13330.2018, в следующем виде:

$$E_{b,\tau} = \frac{E_b}{1 + \varphi_{b,cr}}, \quad (5)$$

где E_b — значение начального модуля упругости бетона при сжатии и растяжении; $\varphi_{b,cr}$ — коэффициент ползучести бетона, принимаемые по табл. 6.12 СП 63.13330.2018.

Использование коэффициента ползучести в предельный момент времени не отвечает задачам сравнения результатов расчета с данными мониторинга. Поэтому в этом случае и в задачах, где требуется учет фактора времени и стадийности работ,

предпочтительней пользоваться рекомендациями¹, в которых оперируют параметром меры ползучести $C(t, t_0)$.

Под мерой ползучести бетона $C(t, t_0)$ возрастом t понимается отношение коэффициента ползучести $\varphi(t, t_0)$ к модулю упругой (мгновенной) деформации бетона $E_b(t_0)$ в момент нагружения t_0 .

$$C(t, t_0) = \frac{\varphi(t, t_0)}{E_b(t_0)}. \quad (6)$$

Согласно указанным рекомендациям, меру ползучести бетона к моменту времени t при нагружении в возрасте t_0 принимают в виде

$$C^*(t, t_0) = \frac{1}{E_b(t_0)} - \frac{1}{E_b(t)} + C(\infty, 28)\Omega(t_0)f(t-t_0), \quad (7)$$

где $C(\infty, 28)$ — предельное значение меры ползучести, рассчитываемое по следующей формуле:

$$C(\infty, 28) = C^N(\infty, 28)\xi_{2c}\xi_{3c}. \quad (8)$$

Значения $C^N(\infty, 28)$, ξ_{2c} , ξ_{3c} определяются в зависимости от подвижности бетонной смеси, класса бетона по прочности на сжатие, модуля поверхности и относительной влажности воздуха.

Функция $\Omega(t_0)$ учитывает влияние старения бетона на меру ползучести, а функция $f(t-t_0)$ учитывает нарастание меры ползучести со временем. Их параметры определяются согласно вышеупомянутым рекомендациям в зависимости от модуля поверхности бетона возраста нагружения, а сами они записываются в следующем виде:

$$\Omega(t_0) = c + de^{-\gamma_0 t_0}; \quad (9)$$

$$f(t-t_0) = 1 - ke^{-\gamma_1(t-t_0)}. \quad (10)$$

Здесь необходимо отметить, что согласно действующему стандарту СП 63.13330.2018 значение относительной влажности воздуха, от которой зависят параметры ползучести, определяется как средняя месячная относительная влажность наиболее теплого месяца для района строительства. Такой же подход реализован в документах ACI 318-19 и NEN 6720:1995/A3:2004. Однако конструкция ограждения котлована, в отличие от свай, лишь одной стороной обращена к атмосфере, которая к тому же может дополнительно увлажняться за счет фильтрации грунтовых вод по открытым порам и трещинам в бетоне. Также нельзя оставлять без внимания то, что такие подземные конструкции, как сваи и ограждения котлованов, в отличие от надземных конструкций, устраиваются не в опалубке, а в грунтовой выработке.

¹ Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1988. 120 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293791/4293791385.pdf>.

В связи с вышеизложенным, становится необходимым знать, как оценивать влияние на параметры ползучести факта укладки бетонной смеси в грунтовую выработку и наличия полного либо частичного контакта с грунтом. Для этого проанализируем грунтовые условия твердения бетона, упомянутые ранее.

Влияние на ползучесть влажности тесно увязывают с процессом влагопереноса из бетона в окружающую среду. Этот процесс протекает до момента установления гигрометрического равновесия между средами бетона и грунта, то есть равенства относительной влажности воздуха на контакте.

Грунтовые условия твердения цементного камня разделяют на водные (твердения в воде), нормально-влажные (нет испарения воды, но и нет условий для поглощения извне) и воздушно-сухие (существуют условия для испарения воды в окружающую среду) [16]. Согласно этой работе, обычно при твердении растворов в скважине отсутствует испарение воды, однако возможно ее поглощение, например гигроскопичными горными породами. Также добавим, что подобное поглощение происходит в сухих песчаных и лессовых грунтах. Подводное твердение или твердение на контакте с водонасыщенными грунтами обеспечивает наилучшие условия твердения. С другой стороны, наихудшие условия твердения наблюдаются при испарении воды из пор цементного камня. В этом случае становятся актуальными вопросы об относительной влажности воздуха грунтовой среды и особенностях технологии устройства конструкций в грунтах, которые рассмотрим ниже.

Таким образом, выделяются следующие характерные для геотехнических конструкций задачи, требующие решения для корректного определения деформаций ползучести бетона:

- 1) конструкция погружена в водонасыщенные грунты;
- 2) конструкция находится в грунтах со степенью водонасыщения $S_r < 1,0$;
- 3) на результаты первых трех задач могут влиять технологические особенности устройства конструкций в грунтовых выработках.

Рассмотрим последовательно эти задачи.

Если при водонасыщенном состоянии грунтовой среды понятно, что отток влаги из бетона не происходит ввиду отсутствия градиента давления, то при степени водонасыщения $S_r < 1,0$ вопрос открытый. Очевидно лишь то, что в этом случае насыщение бетона влагой или обратный процесс будут протекать под влиянием парциального давления водяного пара. Поэтому рассмотрим вопрос относительной влажности грунтовой атмосферы.

В талом грунте выделяют следующие состояния газов: свободные, адсорбированные и защемленные. В свободном состоянии газы находятся при степени водонасыщения $S_r < 0,5-0,6$, а при повышении ее

до 0,8–0,9 свободные газы заземляются капиллярной водой и переходят в заземленное состояние [17].

В установлении гидродинамического равновесия, до достижения которого возможно истечение водяного пара из бетона, участвует только свободный газ, так как лишь он может оказывать парциальное давление в поровом пространстве грунта.

Типичные геологические условия устройства подземных конструкций таковы, что неводонасыщенными являются грунты зоны аэрации, которые активно участвуют в газообмене с атмосферой, пытаясь выровнять состав и находясь под ее давлением. Более глубоко залегающие грунты либо являются водоупорами, либо находятся в водонасыщенном состоянии.

В гидрометеорологии, почвоведении и теории переноса вещества в пористых средах общепринято [18–25] следующее уравнение, описывающее относительную влажность воздуха в порах грунта:

$$RH = \frac{p}{p_s} = \exp\left(-\frac{\Psi_w M_w}{RT}\right), \quad (11)$$

где p — давление водяного пара при заданной температуре, Па; p_s — давление насыщенного пара при заданной температуре, Па; R — универсальная газовая постоянная, равная $\approx 8,314$ Дж/(моль·К); T — температура грунта, К; M_w — молекулярный (молярный) вес водяного пара, равный 0,018 кг/моль; Ψ_w — потенциал почвенной влаги (берется положительное значение), Дж/кг, который в литературе иногда заменяется эквивалентными единицами [21]:

- давление воды в почве P_w , Па, получаемое путем умножения Ψ_w на плотность воды;
- напор воды в почве P_w , м, получаемый путем деления Ψ_w на ускорение свободного падения.

Следующим вопросом является технология устройства грунтовых выработок, которая для последующей укладки бетона играет не менее важную роль. В настоящее время применяются следующие основные методы их устройства: без крепления стенок выработки, с креплением извлекаемыми обсадными трубами, под защитой избыточного давления воды, глинистого (бентонитового) или полимерного растворов. Первые два случая не оказывают дополнительного влияния на условия твердения бетона. Избыточное давление и применение глинистого или полимерного растворов дополнительно увлажняет окружающие грунты, повышая степень водонасыщения и снижая водо- и газопроницаемость. Значимый эффект оказывает глинистый раствор, который в процессе фильтрации под действием гидростатического давления проникает в грунт и создает на контакте с бетоном глинистую корочку, представленную на рис. 2, являющуюся доработанной версией схемы в работе J. Carreto et al. [26]. Впоследствии она изолирует бетон от условий окружающего грунта до некоторой степени, которую можно охарактеризовать коэффициентом фильтрации.

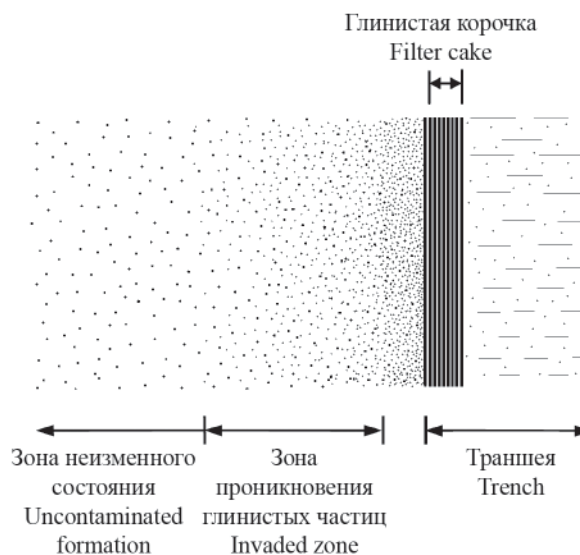


Рис. 2. Схема контакта грунта и выработки при использовании глинистого раствора (дополненная версия схемы, перепечатанной из работы [26])

Fig. 2. Scheme of the contact zone of soil and trench with a bentonite suspension (reprinted from [26])

Исследования J. Carreto et al. [26] показывают, что при устройстве выемок в грунте под защитой глинистого раствора происходит незначительная потеря через стенки выемки глинистых частиц при постоянной фильтрации воды. При этом отмечается, что значительная потеря суспензии возможна лишь в гравелистых грунтах.

В работе Z. Zizka et al. [27] показано, что коэффициент фильтрации для воды из глинистого раствора быстро падает и стремится к асимптотическому значению вместе с глубиной проникновения глинистых частиц в грунт. Причем скорость выхода на асимптоту тем быстрее, чем выше давление жидкости. Указанным коллективом были испытаны на проницаемость пески крупностью 0,25–0,5 и 0,5–1,0 мм с исходными коэффициентами фильтрации 35 и 173 м/сут, соответственно, и получены данные, представленные в табл. 2.

Приведенные в табл. 2 данные показывают, что начальные значения коэффициента фильтрации снизились на 3–4 порядка за 11–70 с, и конечная величина сильно зависит от давления нагнетания глинистой суспензии.

Исследование Nguyen The-Bao et al. [28] по изучению коэффициента фильтрации бентонитовой корочки в зависимости от коэффициента пористости и давления нагнетания показало, что с ростом давления коэффициент пористости и фильтрации снижается. Также была изучена зависимость толщины бентонитовой корочки от давления нагнетания, которая показала рост ее толщины вместе с давлением. В ходе эксперимента были испытаны растворы бентонита торговых марок Tixoton, Bentonil

Табл. 2. Коэффициент фильтрации глинистой корочки в зависимости от давления раствора**Table 2.** The filter cake water permeability coefficient depending on the slurry pressure

Давление глинистого раствора, МПа The slurry pressure, МPa	Коэффициенты фильтрации глинистой корочки k в зависимости от размеров частиц песка, м/сут / The filter cake water permeability coefficient k depending on the grain size of sand, m/day	
	0,25–0,5 мм / mm	0,5–1,0 мм / mm
0,2	$69 \times 10^{-3} / 62$ с / s	$52 \times 10^{-3} / 62$ с / s
0,3	$52 \times 10^{-3} / 11$ с / s	$17 \times 10^{-3} / 70$ с / s
0,5	$9 \times 10^{-3} / 11$ с / s	—
0,7	$7 \times 10^{-3} / 12$ с / s	—

Примечание: в числителе значение установившегося коэффициента фильтрации, а в знаменателе — время его достижения в секундах.

Note: the value of the water permeability factor is provided in the numerator, and the time in seconds is provided in the denominator.

GTC4 и DY-100S в трех концентрациях: 4, 6 и 8 % с коэффициентами фильтрации $(21 \dots 249) \cdot 10^{-7}$ м/сут, $(19 \dots 192) \cdot 10^{-7}$ м/сут и $(19 \dots 181) \cdot 10^{-7}$ м/сут, соответственно, и измеренной толщиной корочки 1,75...2,5, 1,5...3,0 и 2,0...4,5 мм, соответственно.

В работе Н. Choi [29] были разработаны численные модели, моделирующие поток грунтовых вод через глинистую противofильтрационную завесу толщиной стенки 0,6 м, у которой на контакте с грунтом присутствует бентонитовая корочка. Указано, что типичный коэффициент фильтрации корочки составляет $86 \cdot 10^{-7}$ м/сут, а толщина — 5 и 10 мм.

Статья А. Soroush и М. Soroush [30] повествует нам об исследовании толщины глинистой корочки, образованной при длительном отстаивании бентонитового раствора в траншее для противofильтрационного ограждения. Поскольку по технологии

вначале устраиваются траншеи в порядке через одну, а в промежутках позднее, то на контакте панелей также образуется глинистая корочка, которая и стала предметом этого исследования. При этом толщина глинистой корочки оценивалась в зависимости от времени отстаивания суспензии в траншее, вида и количества добавок в раствор, наличия и отсутствия его циркуляции. В частности, в статье показано, как менялась толщина глинистой корочки для глинистых растворов с концентрацией бентонита 2, 3, 4, 6 и 7,5 % в зависимости от времени. За сутки толщина глинистой корочки любой концентрации бентонита не превысила 14 мм, причем чем выше концентрация бентонита, тем быстрее достигалась наибольшая толщина корочки. Эти сведения приводятся на рис. 3. В работе отмечается, что циркуляция раствора приводит к некоторому уменьшению толщины корочки. Применение

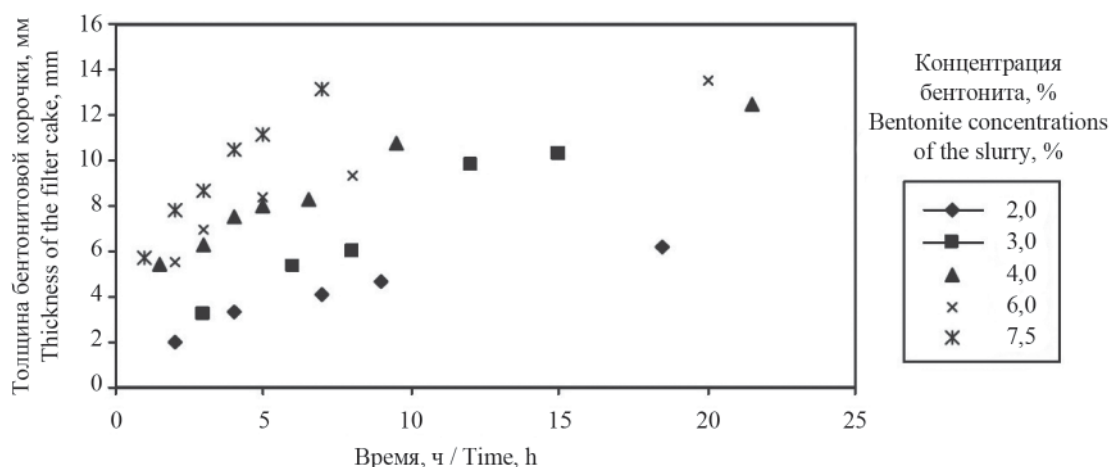


Рис. 3. Зависимость толщины глинистой корочки от времени отстаивания глинистой суспензии в траншее при различной концентрации бентонита (перепечатано с [30])

Fig. 3. Variation in thickness of the bentonite cake versus time for different bentonite concentrations of the slurry (reprinted from [30])

регенерированного глинистого раствора приводит к большей толщине корочки и более быстрому ее росту по сравнению со свежеприготовленным раствором, так же как и наличие в основании сухих хорошо фильтрующих грунтов.

Из опытов С. Lam и др. [31] известно, что прочность контакта бетон — грунт снижается с ростом толщины глинистой корочки и глубины проникновения глинистых частиц в грунт, которые растут со временем. Такие же данные нашли свое отражение в рекомендациях², где показано влияние на прочность контакта грунта с щелевым фундаментом следующих параметров: удельный вес суспензии, характеризующий концентрацию глинистых частиц, и время отстаивания раствора в траншее. Снижение прочности контакта охарактеризовано через коэффициенты работы по боковой поверхности, значения которых приведены в табл. 3.

В статье [32] отмечено, что опыты С. Loreck [33, 34], в которых анализировалось боковое давление свежего бетона стены в грунте, показали, что при укладке бетонной смеси в траншею происходит консолидация водонасыщенной глинистой корочки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обзор существующих работ показал актуальность темы исследования и подтвердил необходимость учета ползучести бетона при решении практических задач. Установлено, что ползучесть бетона влияет на распределение осевого усилия в сваях по глубине и приводит к снижению изгибной жесткости железобетонных конструкций. В настоящее время для расчета конструкций, устраиваемых в грунтовых выработках, применяются методы расчета параметров ползучести, не учитывающие

² Рекомендации по проектированию и строительству щелевых фундаментов. М.: НИИОСП, 1982. 51 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293793/4293793787.htm>

геотехнические особенности работы конструкций и способа их изготовления.

Оценочные расчеты показывают, что качественно влияние ползучести бетона в расчетах ограждений котлованов сказывается на напряженно-деформированном состоянии как строительных конструкций, так и грунтового основания. Однако количественно можно увидеть, что в большей степени влияние ползучести проявляется в прогибах стены в грунте и перераспределении усилий между распорными конструкциями с нижних ярусов на верхние, что связано с увеличением податливости ограждающей конструкции. Наибольший рост продольных усилий на 31 % отмечается в верхнем ярусе распорок, во втором ярусе усилия не изменились, в третьем и четвертом снизились на 7 и 15 % соответственно. Поэтому видится, что эффекты ползучести бетона в ограждающих конструкциях следует проследить по осевым усилиям в распорных конструкциях и анкерах при длительном мониторинге.

Факторы, влияющие на ползучесть бетона, можно разделить на регулируемые и нерегулируемые. К первым можно отнести возраст бетона в момент нагружения, модуль поверхности, уровень начальных напряжений σ_b/R_b и состав бетонной смеси. Ко вторым — относительную влажность воздуха, температуру окружающей среды, геологические условия.

Действующий стандарт РФ на проектирование железобетонных конструкций СП 63.13330.2018 подразумевает применение теории линейной ползучести бетона и предлагает применение коэффициента ползучести бетона $\varphi_{b,cr}$, который определяется только в зависимости от класса бетона по прочности и относительной влажности воздуха наиболее теплого месяца для района строительства в предельный момент времени. Применение рекомендаций НИИЖБ по учету ползучести и усадки бетона при

Табл. 3. Коэффициент условий работы грунта по боковой поверхности щелевого фундамента (перепечатано из рекомендаций²)

Table 3. The strength reduction factor of the contact of soil — barrette (reprinted from²)

Вид грунта Soil type	Вид глинистого раствора The basic component of the slurry	Промежуток времени от момента окончания разработки траншеи до начала бетонирования, ч Time from trench excavation completion to concreting, h			
		< 4	4–6	6–48	> 48
Пески, супеси Sand, loamy sand	Бентонитовый / Bentonite ($\gamma \leq 11 \text{ кН/м}^3 / \text{kN/m}^3$)	0,7	0,6	0,4	0,2
	Небентонитовый / Non-bentonite ($\gamma = 11,3\text{--}12,5 \text{ кН/м}^3 / \text{kN/m}^3$)	0,8	0,7	0,5	0,3
Суглинки, глины Loam soils, clays	Любой / Any ($\gamma \leq 12,5 \text{ кН/м}^3 / \text{kN/m}^3$)	0,6	0,5	0,4	0,2

расчете бетонных и железобетонных конструкций позволяет учесть возраст бетона t , момент времени приложения внешней нагрузки t_0 , подвижность бетонной смеси, количество воды затворения и вовлеченного воздуха, вид заполнителя, модуль открытой поверхности и наличие циклической нагрузки. Это может быть особенно полезно в сопоставлении расчетных данных с мониторингом.

С точки зрения влияния грунтовых условий на процесс твердения цементного камня выделяют: водное твердение, нормально-влажное и воздушно-сухое. Подводное твердение или твердение на контакте с водонасыщенными грунтами обеспечивает наилучшие условия. Наихудшие условия наблюдаются при испарении воды из пор цементного камня в сухих грунтах, например скальных, лессовых и песчаных.

Исследования показывают, что при степени водонасыщения $S_r > 0,8–0,9$ свободные газы зацемяются капиллярной водой, поэтому можно считать условия твердения бетона соответствующими подводному. При $0,5–0,6 < S_r < 0,8–0,9$ условия твердения можно считать нормально-влажными. При $S_r < 0,5–0,6$ бетон находится в воздушно-сухих условиях, при которых потенциально возможно испарение из него воды в окружающую среду и истечение воды, использованной для затворения. Как при $S_r > 0,5–0,6$, так и при устройстве выработки под защитой глинистого раствора относительную влажность грунтовой атмосферы RH можно считать равной 100 %. Для случая $S_r < 0,5–0,6$ RH следует рассчитывать, например, по формуле (11).

С точки зрения влияния технологии устройства выработки особо выделяется откопка под защитой глинистого раствора, при которой между грунтом и железобетонной конструкцией присутствует водонасыщенная глинистая корочка с рядовой толщиной порядка 5–10 мм. Исследования показывают, что глинистая корочка сохраняет свою проницаемость для воды постоянно на некотором значении, зависящем от давления и времени нагнетания. Поскольку время нагнетания ограничено сроком от начала откопки до бетонирования траншеи, а давление — ее глубиной, то можно сделать

вывод, что глинистая корочка не может считаться абсолютной изоляцией бетона в выработке от фильтрационного потока воды. Также опытами установлено, что после заливки бетонной смеси в траншею происходит консолидация водонасыщенной глинистой корочки, что позволяет сделать вывод о ее паронепроницаемости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Становится очевидно, что методологически задачи определения относительной влажности воздуха грунтовой атмосферы решаемы. Остается лишь в дальнейшем количественно оценить величину RH для паропроницаемых грунтов со степенью водонасыщения $S_r < 0,5–0,6$.

Поскольку влияние относительной влажности воздуха и потока грунтовых вод главным образом сводится к формированию определенной весовой влажности бетона, то актуализируется вопрос определения ее установившегося значения. Так, если для свай с ее однородными по периметру граничными условиями задача определения весовой влажности достаточно тривиальна, то для ограждения котлована можно выделить следующие три задачи, требующие решения:

- 1) ограждение котлована имеет на одной границе неводонасыщенный грунт с относительной влажностью воздуха грунтовой среды RH_p , а на другой — атмосферный воздух с относительной влажностью RH_e ;
- 2) ограждение котлована имеет с одной стороны грунтовые воды с определенным гидростатическим давлением, а с другой — атмосферный воздух с относительной влажностью RH_e ;
- 3) ограждение котлована имеет с одной стороны грунтовые воды с определенным гидростатическим давлением, а с другой — атмосферный воздух с относительной влажностью RH_e , но контакт грунт — бетон разделяет глинистая корочка.

Решение этих задач качественно решит проблему применения методов учета ползучести бетона в таких геотехнических конструкциях, как сваи и железобетонные ограждения котлованов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евсеев Н.А. Особенности учета нелинейной работы железобетона в расчетах взаимодействия здания и основания // Геотехника. 2018. Т. 10. № 4. С. 58–71. URL: <http://www.geomark.ru/articles/osobennosti-ucheta-nelineynoy-raboty>
2. Евсеев Н.А. Метод расчета зданий из монолитного железобетона во взаимодействии с основанием при учете физической нелинейной работы железобетонных конструкций // Жилищное строи-

- тельство. 2019. № 11. С. 41–45. DOI: 10.31659/0044-4472-2019-11-41-45
3. Li K., Han J., Zhou C., Ju Y. Early-age stress analysis of a concrete diaphragm wall through tensile creep modeling // Materials and Structures. 2009. Vol. 42. Issue 7. Pp. 923–935. DOI: 10.1617/s11527-008-9432-4
4. Bourne-Webb P.J. The role of concrete creep under sustained loading, during thermo-mechanical testing of energy piles // Computers and Geotechnics.

2020. Vol. 118. P. 103309. DOI: 10.1016/j.compgeo.2019.103309

5. Kim D., Kim H., Shin K.J., Seo H. The effect of concrete deformation on displacement of an axially loaded drilled shaft // *Marine Georesources & Geotechnology*. 2016. Vol. 34. Issue 2. Pp. 116–126. DOI: 10.1080/1064119x.2014.969413

6. Truty A.A. Influence of diaphragm wall installation in overconsolidated sandy clays on in situ stress disturbance and resulting wall deformations // *Annals Warsaw University of Life Sciences — SGGW*. 2016. Vol. 48. Issue 3. Pp. 243–253. DOI: 10.1515/sggw-2016-0019

7. Dong Y.P., Burd H.J., Houlsby G.T. Finite element parametric study of the performance of a deep excavation // *Soils and Foundations*. 2018. Vol. 58. Issue 3. Pp. 729–743. DOI: 10.1016/j.sandf.2018.03.006

8. Ou C.Y. Deep excavation: Theory and practice. London : Taylor & Francis, 2006. 552 p. DOI: 10.1201/9781482288469

9. Soekhoe R.S. Realistic bending stiffness of diaphragm walls for structural analysis: A comparison with the uncracked and totally cracked stiffness for the case of The Waalbrug Nijmegen. Delft: Delft University of technology, 2015. URL: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:e58d7ab2-1ff3-4d19-a47a-c12d7cf7cf1?collection=education>

10. Gaba A., Hardy S., Doughty L., Powrie W., Selemetas D. Guidance on embedded retaining wall design. London : CIRIA, 2017. URL: <https://www.ciria.org/ItemDetail?iProductcode=C760&Category=BOOK>

11. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Брусцер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. М. : Стройиздат, 1979. 344 с.

12. Улицкий И.И. Теория и расчет железобетонных стержневых конструкций с учетом длительных процессов. Киев : Будівельник, 1967. 347 с.

13. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. М. : Госстройиздат, 1961. 96 с.

14. Тамразян А.Г., Есаян С.Г. Механика ползучести бетона. М. : Изд-во МИСИ – МГСУ, 2012. 488 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006511095>

15. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учетом ползучести бетона. 3-е изд., перераб. и доп. М. : НИИЖБ, 2004. 712 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002502609>

16. Зварыгин В.И. Тампонажные смеси. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2014. 216 с.

17. Грунтоведение / В.Т. Трофимов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенский, Г.А. Голодковская, Ю.К. Васильчук, Р.С. Зянгиринов; под ред. В.Т. Трофимова. 6-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во МГУ; Наука, 2005. 1024 с. URL: <http://www.geolmsu.ru/files/grunt.pdf>

18. Вершинин А.П. Анализ и оценка современных методов определения испарения с природных ландшафтов // *Современные проблемы гидрометеорологии : сб. науч. тр. СПб. : РГГМУ, 1999. С. 121–141.*

19. Smagin A.V. Physically based mathematical models of the water vapor sorption by soils // *Eurasian Soil Science*. 2011. Vol. 44. No. 6. Pp. 659–669. DOI: 10.1134/S1064229311060135

20. Смагин А.В. Газовая фаза почв. М. : Изд-во МГУ, 2005. 301 с. URL: https://istina.msu.ru/download/21571401/1jQZjo:wtV7srgdWoGMoyTnP39j2BZ_-pI

21. Спозито Г. Термодинамика почвенных растворов / пер. с англ. и ред. А.М. Глобуса. Ленинград : Гидрометеоздат, 1984. 240 с.

22. Глобус А.М. Экспериментальная гидрофизика почв: методы определения потенциала и коэффициентов переноса почвенной влаги. Ленинград : Гидрометеоздат, 1969. 355 с.

23. Amer A.M.A. Water vapor adsorption and soil wetting // *Wetting and Wettability*. Moscow, Aliofkhazraei, 2015. DOI: 10.5772/60953

24. Bittelli M., Ventura F., Campbell G., Snyder R., Gallegati F., Pisa P.R. Coupling of heat, water vapor, and liquid water fluxes to compute evaporation in bare soils // *Journal of Hydrology*. 2008. Vol. 362. Issue 3–4. Pp. 191–205. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2008.08.014

25. Bear J. Modeling phenomena of flow and transport in porous media. Cham : Springer, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-72826-1

26. Carreto J., Caldeira L., Maranhã das Neves E. Processes involved in the formation and performance of self-hardening slurry walls: Santa Clara-a-Velha monastery cutoff wall // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2016. Vol. 142. Issue 7. Pp. 04016019. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001483

27. Zizka Z., Schoesser B., Thewes M., Schanz T. Slurry shield tunneling: new methodology for simplified prediction of increased pore pressures resulting from slurry infiltration at the tunnel face under cyclic excavation processes // *International Journal of Civil Engineering*. 2019. Vol. 17. Pp. 113–130. DOI: 10.1007/s40999-018-0303-2

28. Nguyen T.-B., Lee C., Lim J., Choi H. Hydraulic characteristics of bentonite cake fabricated on cutoff walls // *Clays and Clay Minerals*. 2012. Vol. 60. No. 1. Pp. 40–51. DOI: 10.1346/CCMN.2012.0600104

29. Choi H.-J., Nguyen T.-B., Lim J., Choi H. Parametric study on cutoff performance of soil-bentonite slurry wall: Consideration of construction defects and bentonite cake // *KSCSE Journal Civil Engineering*. 2015. Vol. 19. Pp. 1681–1692. DOI: 10.1007/s12205-014-1171-1

30. Soroush A., Soroush M. Parameters affecting the thickness of bentonite cake in cutoff wall construction: case study and physical modeling // *Canadian Geo-*

technical Journal. 2005. Vol. 42. Issue 2. Pp. 646–654. DOI: 10.1139/T04-090

31. Lam C., Jefferis S.A., Suckling T.P., Troughton V.M. Effects of polymer and bentonite support fluids on the performance of bored piles // *Soils and Foundations*. 2015. Vol. 55. Issue 6. Pp. 1487–1500. DOI: 10.1016/j.sandf.2015.10.013

32. Шулятьев О.А., Минаков Д.К. Влияние изменения напряженно-деформированного состояния в грунтовом массиве при устройстве стены в грунте на расчет ограждающих и распорных конструкций котлована // *Геотехника*. 2018. Т. 10. № 3. С. 54–68.

URL: <http://www.geomark.ru/articles/vliyanie-izmeneniya-napryazhenno-deform/>

33. Loreck C., Triantafyllidis T. Berücksichtigung des Frischbetondrucks bei der FE-Simulation der Schlitzwandherstellung // *Bautechnik*. 2007. Vol. 84. Issue 9. Pp. 646–655. DOI: 10.1002/bate.200710055

34. Loreck C.M. Die entwicklung des frischbetondrucks bei der herstellung von schlitzwänden. Bochum, 2008. 224 p. URL: <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT%3A590632906/Die-Entwicklung-des-Frischbetondrucks-bei-der-Herstellung/>

Поступила в редакцию 7 июля 2020 г.

Принята в доработанном виде 4 августа 2020 г.

Одобрена для публикации 25 августа 2020 г.

ОБ АВТОРАХ: **Завен Григорьевич Тер-Мартirosян** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механики грунтов и геотехники; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 9613-8764, ORCID: 0000-0001-9159-6759, Scopus: 35621133900, ResearcherID: Q-8635-2017; ter-martyrosyanzg@mgsu.ru;

Виктор Васильевич Бахмисов — старший инженер; **НИИОСП им. Герсеванова** — АО «НИЦ «Строительство»; 109428, г. Москва, Рязанский пр-т, д. 59; SPIN-код: 3438-3850; bahmisov7@live.com.

REFERENCES

1. Evseev N.A. The features of reinforced concrete non-linear behavior account in soil-structure interaction calculations. *Geotechnics*. 2018; 10(4):59-69. URL: <http://www.geomark.ru/articles/osobennosti-ucheta-nelineynoy-raboty> (rus.).

2. Evseev N.A. Method of calculation of monolithic reinforced concrete buildings in interaction with the base with due regard for physically nonlinear work of reinforced concrete structures. *Housing Construction*. 2019; 11:41-45. DOI: 10.31659/0044-4472-2019-11-41-45 (rus.).

3. Li K., Han J., Zhou C., Ju Y. Early-age stress analysis of a concrete diaphragm wall through tensile creep modeling. *Materials and Structures*. 2009; 42(7):923-935. DOI: 10.1617/s11527-008-9432-4

4. Bourne-Webb P. The role of concrete creep under sustained loading, during thermo-mechanical testing of energy piles. *Computers and Geotechnics*. 2020; 118:103309. DOI: 10.1016/j.compgeo.2019.103309

5. Kim D., Kim H., Shin K., Seo H. The effect of concrete deformation on displacement of an axially loaded drilled shaft. *Marine Georesources & Geotechnology*. 2014; 34(2):116-126. DOI: 10.1080/1064119x.2014.969413

6. Truty A.A. Influence of diaphragm wall installation in overconsolidated sandy clays on in situ stress disturbance and resulting wall deformations. *Annals Warsaw University of Life Sciences — SGGW*. 2016; 48(3):243-253. DOI: 10.1515/sggw-2016-0019

7. Dong Y.P., Burd H.J., Houlsby G.T. Finite element parametric study of the performance of a deep excavation. *Soils and Foundations*. 2018; 58(3):729-743. DOI: 10.1016/j.sandf.2018.03.006

8. Ou C.-Y. *Deep excavation: Theory and practice*. London, Taylor & Francis, 2006. DOI: 10.1201/9781482288469

9. Soekhoe R. *Realistic bending stiffness of diaphragm walls for structural analysis: A comparison with the uncracked and totally cracked stiffness for the case of The Waalbrug Nijmegen*. Delft, Delft University of technology, 2015. URL: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:e58d7ab2-1ff3-4d19-a47a-c12d7cfc7fa1>

10. Gaba A., Hardy S., Doughty L., Powrie W., Selemetas D. *Guidance on embedded retaining wall design*. London, CIRIA, 2017. URL: <https://www.ciria.org/ItemDetail?iProductcode=C760&Category=BOOK>

11. Sheykin A., Chehovskiy J., Brusser M. *Structure and properties of cement concrete*. Moscow, Stroyizdat, 1979; 344. (rus.).

12. Ulitskiy I.I. Theory and calculation of reinforced concrete bar structures taking into account long-term processes. Kiev, Budivel'nik, 1967; 347. (rus.).

13. Berg O.Ya. The physical basis of the theory of durability of concrete and reinforced concrete. Moscow, Gosstroyizdat, 1961; 96. (rus.).

14. Tamrazyan A.G., Esayan S.G. *Creep mechanics of concrete*. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 2012. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006511095> (rus.).

15. Aleksandrovskiy S.V. *Calculation of concrete and reinforced concrete structures for changes in temperature and humidity, taking into account the creep of concrete*. 3rd ed. Moscow, NIIZHB, 2004; 712. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002502609> (rus.).
16. Zvarygin V.I. *Grout mixes*. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2014; 216. (rus.).
17. Trofimov V.T., Korolev V.A., Voznesenskiy E.A., Golodkovskaya G.A., Vasil'chuk Yu.K., Ziangirov R.S. *Soil science*. Moscow, MSU Publ., 2005; 1024. URL: <http://www.geolmsu.ru/files/grunt.pdf> (rus.).
18. Vershinin A.P. *Modern problems of hydrometeorology: collection of scientific papers*. St. Petersburg, RSHU, 1999; 121-141. (rus.).
19. Smagin A.V. Physically based mathematical models of the water vapor sorption by soils. *Eurasian Soil Science*. 2011; 44(6):659-669. DOI: 10.1134/S1064229311060135
20. Smagin A.V. The gaseous phase of soils. Moscow, MSU Publ., 2005; 301. URL: https://istina.msu.ru/download/21571401/1jQZjo:wtV7srgdWoGMoyTnP39j2BZ_pI (rus.).
21. Sposito G. *The thermodynamics of soil solution*. Oxford University Press, 1981; 223.
22. Globus A.M. *Experimental soil hydrophysics: Methods for determining the potential and soil moisture transfer coefficients*. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1969; 355.
23. Amer A.M.A. Water vapor adsorption and soil wetting. *Wetting and Wettability*. Aliofkhazraei M. (ed.). 2015. DOI: 10.5772/60953
24. Bittelli M., Ventura F., Campbell G., Snyder R., Gallegati F., Pisa P.R. Coupling of heat, water vapor, and liquid water fluxes to compute evaporation in bare soils. *Journal of Hydrology*, 2008; 362(3-4):191-205. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2008.08.014
25. Bear J. *Modeling phenomena of flow and transport in porous media*. Cham, Springer, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-72826-1
26. Carreto J., Caldeira L., Maranha das Neves E. Processes involved in the formation and performance of self-hardening slurry walls: Santa Clara-a-Velha monastery cutoff wall. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2016; 142(7):04016019. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001483
27. Zizka Z., Schoesser B., Thewes M., Schanz T. Slurry shield tunneling: new methodology for simplified prediction of increased pore pressures resulting from slurry infiltration at the tunnel face under cyclic excavation processes. *International Journal of Civil Engineering*. 2019; 17:113-130. DOI: 10.1007/s40999-018-0303-2
28. Nguyen T.-B., Lee C., Lim J., Choi H. Hydraulic characteristics of bentonite cake fabricated on cutoff walls. *Clays and Clay Minerals*. 2012; 60(1):40-51. DOI: 10.1346/CCMN.2012.0600104
29. Choi H.-J., Nguyen T.-B., Lim J., Choi H. Parametric study on cutoff performance of soil-bentonite slurry wall: Consideration of construction defects and bentonite cake. *KSCCE Journal Civil Engineering*. 2015; 19:1681-1692. DOI: 10.1007/s12205-014-1171-1
30. Soroush A., Soroush M. Parameters affecting the thickness of bentonite cake in cutoff wall construction: case study and physical modeling. *Canadian Geotechnical Journal*. 2005; 42(2):646-654. DOI: 10.1139/T04-090
31. Lam C., Jefferis S.A., Suckling T.P., Troughton V.M. Effects of polymer and bentonite support fluids on the performance of bored piles. *Soils and Foundations*. 2015; 55(6):1487-1500. DOI: 10.1016/j.sandf.2015.10.013
32. Shulyatev O.A., Minakov D.K. Influence of soil mass stress-strain state during the diaphragm wall installation on the excavation support structures. *Geotechnics*. 2018; 10(3):54-68. URL: <http://www.geomark.ru/articles/vliyanie-izmeneniya-napryazhenno-deform/> (rus.).
33. Loreck C., Triantafyllidis T. Berücksichtigung des Frischbetondrucks bei der FE-Simulation der Schlitzwandherstellung. *Bautechnik*. 2007; 84(9):646-655. DOI: 10.1002/bate.200710055 (ger.).
34. Loreck C.M. *Die Entwicklung des Frischbetondrucks bei der Herstellung von Schlitzwänden*. Bochum, 2008; 224. URL: <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT%3A590632906/Die-Entwicklung-des-Frischbetondrucks-bei-der-Herstellung/> (ger.).

Received July 7, 2020.

Adopted in revised form on August 4, 2020.

Approved for publication on August 25, 2020.

BIONOTES: **Zaven G. Ter-Martirosyan** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Soil Mechanics and Geotechnics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 9613-8764, ORCID: 0000-0001-9159-6759, Scopus: 35621133900, ResearcherID: Q-8635-2017; ter-martyrosyanzg@mgsu.ru;

Viktor V. Bakhmisov — Senior geotechnical engineer; **Gersevanov Research Institute of Bases and Underground Structures (NIOSP)** — “Research Center of Construction” JSC; 59 Ryazanskiy Ave, Moscow, 109428, Russian Federation; SPIN-code: 3438-3850; bahmiso7@live.com.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 69:330.322

DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1297-1307

Анализ интеграционно-аналитического метода инициации инвестиционно-строительного проекта

И.С. Горобинский, Ю.А. Демидова, Ю.А. Прунова, И.С. Птухина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ);

г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Цель исследования — рассмотреть главные принципы и ценности управления инвестиционно-строительным проектом по каждой методологии.

В конце XX в. стало ясно, что продукция, производимая еще в СССР, по большей части имеет аналоги из западных стран, которые обладают лучшими характеристиками. Такая тенденция благоприятна для потребительского общества, но предприятия, чтобы оставаться на рынке, должны ставить перед собой задачи оптимизации, улучшения качества и эффективного управления. Так возникла потребность в альтернативных источниках оптимизации.

Одним из способов явилось внедрение в практику положений теории управления проектами. Это помогает усилить контроль и повысить эффективность использования всех ресурсов предприятия. Применение современного подхода для проектов государственно-частных партнерств поможет улучшить взаимодействие государства и бизнеса, контроль за выполнением проектов. Управление проектами стало незаменимым инструментом в разработке проектов, применяемым не только в программных проектах, но и во многих других областях бизнеса. Основная цель заключается в том, чтобы решить, какую методологию мы должны применить к проекту.

Материалы и методы. Работа выполнена на основе анализа исследований при использовании теоретических методов исследования, основанных на изучении и обобщении диаграмм опубликованных ранее работ зарубежных и отечественных авторов.

Заключение и обсуждение. Проанализированы методологии управления проектами, включающие в себя передовые практики и шаблоны. Проведен краткий анализ истории применения методологий. В научном обзоре рассмотрены три основные методологии, проанализированы их принципы и ценности.

Результатом работы является сравнение принципов стандарта PMI с Prince 2 и Agile Manifesto. Также описана работа каждого из принципов основных международных стандартов управления проектами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инвестиционно-строительный проект, методология управления проектами, стандарт PMI PMBoK, стандарт Prince 2, стандарт Agile Manifesto, Scrum, Project Management Institute

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Горобинский И.С., Демидова Ю.А., Прунова Ю.А., Птухина И.С. Анализ интеграционно-аналитического метода инициации инвестиционно-строительного проекта // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 9. С. 1297–1307. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1297-1307

The analysis of an integrative analytical method used for the initiation of an investment construction project

Ilya S. Gorobinskiy, Yulianna A. Demidova, Yuliya A. Prunova, Irina S. Ptukhina

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU); St. Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The mission of the research is to analyze the main principles and values of investment construction project management subject to each methodology.

In the late 20th century it became clear that the majority of products, manufactured back in the days of the USSR, had counterparts, made in the Western countries, and the characteristics of the Western counterparts were a lot better. This trend favours the consumer society; however, producers must set new objectives aimed at optimization, quality improvement, and effective management to stay in the market. This is how the need for alternative sources of optimization emerged.

The practical implementation of theoretical project management provisions was among the tools. It tightens control and improves the efficiency of all resources of an enterprise. The application of an advanced approach to projects, implemented by public and private partnerships, will boost interaction between the state and the business community as well as project implementation control. Project management has become an integral project development instrument, applied to software projects and many other types of business activities. The main goal is to decide upon the project methodology.

Materials and methods. The project is based on the analysis of earlier research undertakings performed using methods of theoretical research, based on the study and generalization of performance charts published by domestic and foreign authors in the past.

Conclusions. The co-authors have analyzed project management methodologies, including best practices and templates. A brief analysis of the methodology application track record is performed. The research digest encompasses three principal methodologies; their principles and values are analyzed in the work.

Project deliverables include a comparative analysis of principles underlying PMI, Prince 2, and Agile Manifesto standards. Each principle underlying most widely used international standards of project management is described.

KEYWORDS: investment construction project, project management methodology, PMI PMBoK standard, Prince 2 standard, Agile Manifesto standard, Scrum, Project Management Institute

FOR CITATION: Gorobinskiy I.S., Demidova Yu.A., Prunova Yu.A., Ptukhina I.S. The analysis of an integrative analytical method used for the initiation of an investment construction project. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(9):1297-1307. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1297-1307 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

В прошлом столетии перед руководителями предприятий стали возникать вопросы повышения эффективности и оптимизации процессов деятельности предприятия. Это было связано в первую очередь с рыночной экономикой во многих странах мира и с возникновением потребительского общества. Чтобы оставаться конкурентоспособным, предприятие должно непрерывно улучшаться: осваивать новые сегменты рынка, выпускать более качественную продукцию, расширять ее ассортимент.

В конце XX в. стало ясно, что продукция, производимая еще в СССР, по большей части имеет аналоги из западных стран, которые обладают лучшими характеристиками. Предприятия РФ столкнулись с проблемой вытеснения их мировыми компаниями посредством более качественных продуктов по более низкой цене. Такая тенденция благоприятна для потребительского общества, но предприятия, чтобы оставаться на рынке, должны ставить перед собой задачи оптимизации, улучшения качества и эффективного управления. В современной России происходят наиболее масштабные изменения в экономике, управлении, укладе жизни. Эти изменения не только масштабны, но и беспрецедентны — ни в одной другой стране мира за столь короткий срок не происходила коренная ломка одной экономической системы и формирование другой.

В прошлом предприятия на территории РФ, пытаясь снизить издержки, предпочитали капиталоемкому оборудованию и улучшению технического вооружения предприятия дешевую рабочую силу. В западных же странах, наоборот, пытаясь уйти от дорогого труда рабочих, предприятия оснащались новым оборудованием. Таким образом, возникла потребность в альтернативных источниках оптимизации. Одними из способов явились изучение, анализ, а также внедрение в практику ряда теорий управления проектами. Это помогает усилить контроль и повысить эффективность использования всех ресурсов предприятия.

В современной зарубежной практике работы с проектами по теме развития недвижимости часто применяются методы структурного, детального моделирования. Реализация инвестиционно-строительного проекта включает в себя большое количество

задействованных лиц и ресурсов, в частности инвестиций. Применение современного подхода для проектов государственно-частных партнерств поможет повысить эффективность взаимодействия государства и бизнеса, улучшить контроль за выполнением проектов.

Целью данной работы является приведение анализа методологий, их структуры, а также методов инициации управления проектами, таких как PMI, Prince 2 и Agile Manifesto.

Задачи данной работы включают:

1) описание работы каждого из принципов основных международных стандартов управления проектами;

2) рассмотрение главных принципов и ценностей управления инвестиционно-строительным проектом по каждой методологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В стандартах Института управления проектами США (PMI PMBoK) под понятием «проект» подразумевается временное предприятие, предназначенное для создания уникальных продуктов, услуг или результатов [1].

В документе «Основы профессиональных знаний. Национальные требования к компетентности (НТК) специалистов» СОВНЕТ дается три определения термина «проект» [2]:

- проект — это уникальный комплекс взаимосвязанных работ (мероприятий), направленных на создание продукта или услуги в условиях заданных требований и ограничений;

- проект — ограниченное во времени специально организованное целенаправленное изменение отдельной системы в рамках запланированных ресурсов и установленных требований к качеству его результатов;

- проект — предварительно подготовленное, обоснованное техническими и экономическими расчетами и изображенное графически решение по строительству какого-либо здания, сооружения или их комплекса [3].

Проект — это целенаправленное, заранее проработанное и запланированное создание или модернизация физических объектов, технологических процессов, технической и организационной до-

кументации для них, материальных, финансовых, трудовых и иных ресурсов, а также управленческих решений и мероприятий по их выполнению [4].

Рассмотрим понятие инвестиционно-строительного проекта. Согласно законодательству Российской Федерации (Федеральный закон от 17.07.1998 № 39-ФЗ «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений» с последующими изменениями), под инвестициями подразумеваются денежные средства и имущество, имеющее денежную оценку, вкладываемые в объекты предпринимательской или иной деятельности в целях:

- получения прибыли;
- достижения иного полезного эффекта [5].

Подробный анализ методов и моделей, применяемых в управлении проектом развития производственного предприятия, уже был проведен в [1]. Авторами показана целесообразность использования проектного управления при реализации задачи открытия второй производственной площадки [1]. Приведено описание и сравнение различных методологий управления проектами: PMI PMBoK, IPMA и др. На основании этого разработан классификатор методологий по различным критериям, а также типовая модель инвестиционного проекта, которая включает в себя постановку целей и задач, рассмотрение жизненного цикла проекта и коммерческую оценку инвестиционного проекта. В статье по результатам исследований ситуации на предприятии были даны рекомендации по изменению организационной структуры предприятия, по управлению рисками.

Похожие исследования, а именно сравнительный анализ общих и специфических характеристик управления проектами с точки зрения различных управленческих концепций и нормативных документов, представлены в работе [6]. Результатом работы [6] является определение процессов, сопровождающих переход на проектные технологии, которые способствуют успешной реализации проектов.

Существует много различных подходов к управлению проектами и процессами по разработке продуктов. Наиболее известные методологии можно разделить на два вида:

- для управления проектами (методы и стандарты);
- для управления разработкой продуктов (методы и стандарты) [7].

В идеальном мире процессы планирования и выполнения работ были бы достаточно подробными и надежными, чтобы избежать проблем и задержек проекта. Тем не менее значительное количество проектов, особенно крупных и сложных, имеют задержки и увеличивают стоимость. Помимо материальных затрат, наиболее значимым элементом за-

трат в проекте строительства является труд. Затраты на оплату труда по проекту увеличиваются по сравнению с базовым планом, когда возникают задержки. Это может показаться очевидным, но, чтобы избежать задержек, проекту нужны правильные люди, в правильном месте, с подходящими материалами и инструментами и с правильными рабочими инструкциями.

Задержки и перерасходы могут быть вызваны отсутствием необходимого материала в нужное время, что может произойти из-за задержек с поставками, задержек с отгрузкой, ограничений финансирования и т.д. Задержки могут возникать из-за отсутствия надлежащих рабочих инструкций под рукой в нужное время (рабочие пакеты), что может быть вызвано неполным или неточным дизайном и документацией, задержками в принятии решений или инструкций или изменением области действия. Наконец, возможны задержки из-за нехватки рабочей силы вследствие невозможности найти правильные сделки, проблем с поставщиками или подрядчиками и т.д. Есть, конечно, также погодные задержки или другие внешние события. В типичных проектах эти задержки могут привести к претензиям подрядчиков и встречным претензиям, особенно когда вина будет выявлена. Эти юридические вопросы могут еще больше отсрочить проект и увеличить расходы. Фокус внимания может быстро сместиться на результаты отдельных участников проекта, а не на общий успех проекта.

Оценка уровня инновационности крупных инвестиционно-строительных проектов проведена в диссертационном исследовании [5]. Авторскую методику по оценке уровня инновационности инвестиционно-строительных проектов [5] можно использовать при проведении публичного технологического аудита крупнейших инвестиционно-строительных проектов, требование о проведении которого введено постановлением Правительства Российской Федерации от 30 апреля 2013 г. № 382.

Правительство Российской Федерации применяет активные меры по внедрению проектного подхода, но многие эксперты в своих исследованиях называют ряд сдерживающих факторов, которые неблагоприятно сказываются на результатах отдельных проектов. Среди них:

- недостаточный уровень подготовки специалистов;
- низкая мотивация участников, в том числе высшего руководства;
- недостаточно проработанная методология;
- недостаточное взаимодействие программ разных уровней [8].

Традиционные проекты выполняются в едином непрерывном потоке, с последовательными шагами, которые включают инициацию проекта, планирование проекта, выполнение проекта и закрытие

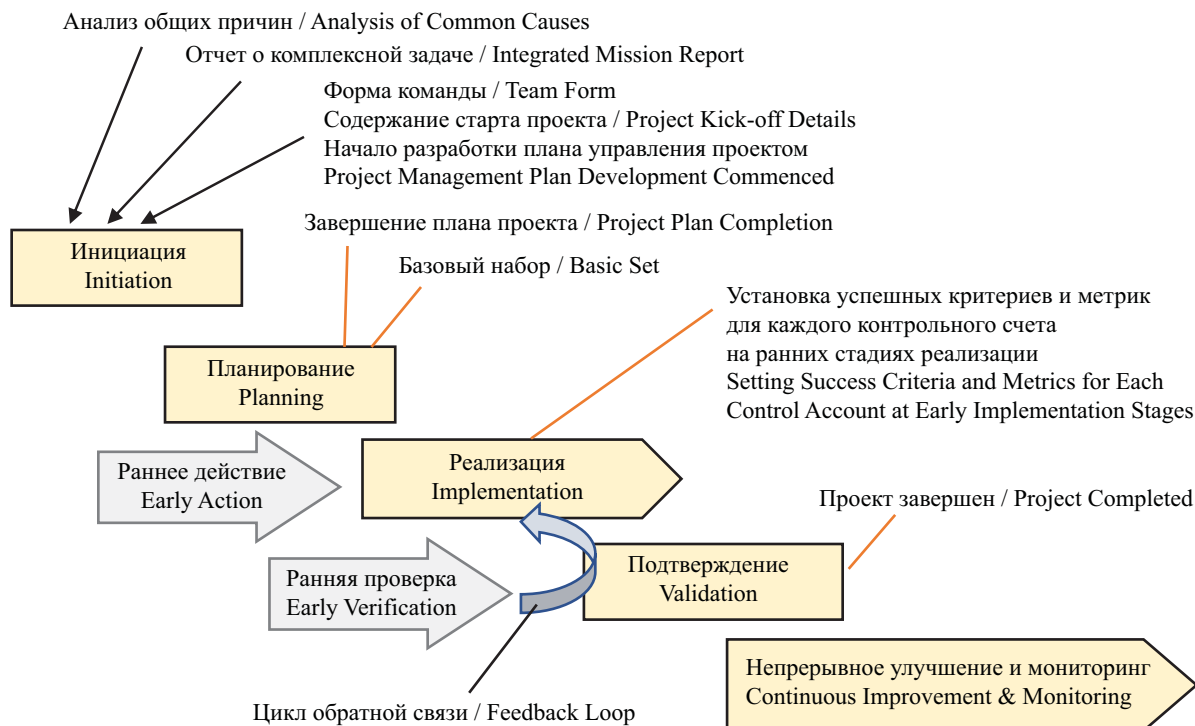


Рис. 1. Анализ общих причин

Fig. 1. Analysis of common causes

проекта. Типичные строительные проекты имеют фазу инициации (планирования), фазу проектирования, фазу строительства, фазу тестирования и перенос на пользовательскую фазу, за которой следует закрытие проекта.

Фаза инициации проекта улучшения обычно включает в себя проведение анализа общих причин или серии анализов основных причин, чтобы выявить слабые стороны организации или процесса, которые, если их устранить, позволят организации продвинуться вперед в решении проблем производительности. Эти анализы, представленные на рис. 1, проводятся группой экспертов по предметным вопросам (МСП) с передовым уровнем опыта в процессах, рассматриваемых для улучшения. Анализ обычно длится несколько недель и фокусируется на последних событиях и проблемах, связанных с производительностью.

Существуют более сложные модели с несколькими фазовыми затворами и фазами заявок, но основной общей чертой является последовательный характер, когда пользовательский ввод происходит в основном на этапе планирования и (или) проектирования. На этапе строительства другой последовательный рабочий план составляется, как правило, в графике проекта, составленном по торговым или географическим областям (например, по этажам зданиям и т.д.). Типичный крупный строительный проект состоит из нескольких подрядчиков, рабо-

тающих на генерального подрядчика, с отдельным проектировщиком и отдельным владельцем, а в некоторых случаях — с отдельными конечными пользователями (арендаторами) со сложными методологиями заключения договоров.

В ходе исследования [9] используются методы диалектического познания и системного анализа. Также вместе с этим было предложено рассмотреть инновационность инвестиционно-строительного проекта как свойство инвестиционно-строительного проекта, показывающее его рыночную востребованность и научно-техническую новизну используемых методов на всех стадиях жизненного цикла создания капитального объекта.

В основном теоретические положения комплексно-сквозного управления проектами развития включают поэтапное управление инвестиционно-строительным процессом, а также отображают последовательность принятия управленческих решений. Рассматривая организационно-экономическую основу формирования проекта, необходимо указать цели и задачи каждой фазы жизненного цикла проекта, схемы финансирования, сокращение сроков реализации, создание прогрессивной организационной структуры управления и другие факторы, влияющие на эффективное управление. При выборе наиболее выгодного с точки зрения инвестиций проекта необходимо провести полную оценку его эффективности [3], применяя соответствующие ме-

тоды и модели, используя разнообразные системы показателей: единичные, групповые, интегральные.

Рассмотрение процесса предварительной оценки эффективности инвестиционно-строительных проектов можно увидеть в работах [5, 10]. В ходе исследования [5] автором были определены основные принципы проведения подобной проверки, выявлены сложности, связанные с неполнотой информации об оцениваемом проекте.

Зачастую проект делится на несколько фаз [11], по итогу завершения каждой из которых предоставляется промежуточный результат. Например, при строительстве дома определяются такие фазы, как проектирование, строительство и пусконаладочные работы. В ходе выполнения работ фазы могут идти последовательно либо накладываться друг на друга, по итогу все фазы образуют жизненный цикл проекта [11].

Управление проектами стало незаменимым инструментом в разработке проектов, применяемым не только в программных проектах, но и во многих других областях бизнеса. Основная цель заключается в том, чтобы решить, какую методологию мы должны применить к проекту.

Prince 2

PRINCE 2 (PROjects IN CONTROLLED ENVIRONMENTS 2) представляет собой структурированный метод управления проектами, одобренный прави-

тельством Великобритании в качестве стандарта управления проектами в социальной сфере. Его также с успехом применяли в США, Канаде, Австралии, странах Европы и используют около 3 % компаний по всему миру.

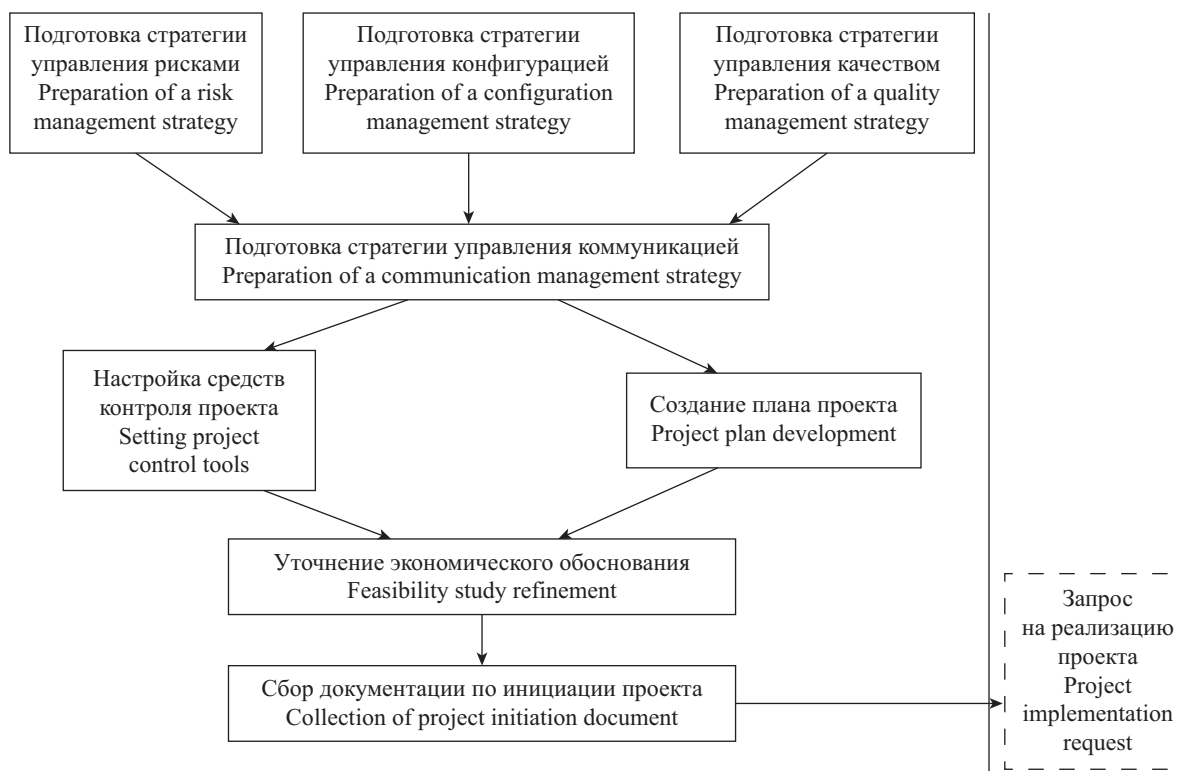
Методология PRINCE 2 по управлению проектами включает в себя передовые практики и образцы. Данная методика представляет собой четко выработанный план действий по делегированию обязанностей от технического заказчика до субподрядчика.

К сильным сторонам этой методологии относятся: гибкость, усиленный контроль над проектом, четкое распределение обязанностей между членами команды.

Недостатки PRINCE 2: отсутствие регламентирования со стороны методологии подходов к управлению контрактами поставок, участниками проекта и прочими процессами, которые были вынесены создателями за рамки.

Реализация метода начинается с составления менеджером проекта документации по инициации проекта, в которой содержится план по стадиям, которые могут длиться разное количество времени, строго следуя друг за другом.

PRINCE 2 рекомендует восемь операций в составе инициации проекта, представленных на рис. 2.



Инициация проекта. 1-я стадия / Project initiation. 1st stage

Рис. 2. Операции в составе инициации проекта (основано на материалах AXELOS PRINCE 2)

Fig. 2. Project initiation operations (based on AXELOS PRINCE 2 materials)

Организационная структура управления проектом по стандарту PRINCE 2 состоит из управляющего комитета, куда входят заказчик, главный пользователь и главный специалист, который отвечает за принятие стратегических решений по проекту, менеджер проекта, осуществляющий текущий менеджмент проекта, и менеджер команды.

Рассмотрим главные принципы PRINCE 2.

1. Начало проекта — детально планируется стадия запуска проекта.

2. Запуск проекта — создается бизнес-план проекта и производится оценка рисков проекта.

3. Управление проектом — распределение ролей и обязанностей, ситуационное управление по значительным проблемам и отклонениям.

4. Контроль стадий — непосредственная работа руководителя проекта по ежедневному управлению проектом.

5. Использование опыта — фокусировка на продукте, а также адаптация.

В отличие от большинства «гибких» моделей (Agile Manifesto) управления, PRINCE 2 не описывает применение итеративного разделения процесса.

PMI

Project Management Institute — это наиболее авторитетная на сегодняшний день некоммерческая профессиональная ассоциация. Она объединяет свыше 285 тыс. специалистов из более чем 170 стран мира в области управления проектами. Стандарт PMI основан в США в 1969 г. и разработан американским Институтом управления проектами PMI.

В стандарте PMI кандидаты сертифицируются на звание PMP (Project management professional). Далее они могут получить следующую степень, повысив свое звание до менеджера CAPM® (Certified Associate in Project Management). Помимо этих двух уровней, при сертификации по стандарту PMA можно получить дополнительные уровни PgMP® (Program Management Professional), PMI-SP® (PMI Scheduling Professional) и PMI-RPM® (PMI Risk Management Professional).

PMI является американским стандартом [12], именно поэтому компании, чья деятельность ориентирована на американского заказчика, пользуются ей в разы чаще. Также в PMI главную роль играет сам процесс управления.

Стандарты управления проектами PMI разрабатываются и делятся на три основные категории:

- Foundational Standards;
- Practice Standards and Frameworks;
- PMI Standards Extensions.

Уникальность методологии заключается в том, что в ее основе лежит процессный подход. В стандарте предполагается, что каждая фаза состоит из пяти групп процессов:

- инициация;
- планирование;

- исполнение;
- управление;
- завершение.

Эти группы, в свою очередь, разделены на 47 процессов. Она рассчитана на проекты от 3 лет длительности и от 1000 человек проектной команды.

Группа процессов инициации PMI состоит из процессов, показанных на рис. 3.

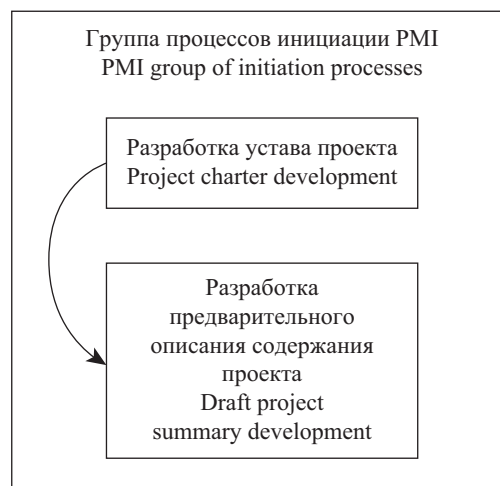


Рис. 3. Группа процессов инициации (основано на материалах стандарта PMBoK Guide)

Fig. 3. Group of initiation processes (based on PMBoK standard guide materials)

При этом процессы инициации выполняются в качестве начальной фазы.

Минусом данной методологии является громоздкость и большие затраты на планирование и разработку документации.

Agile Manifesto

Традиционно строительные проекты считаются плохими кандидатами для гибкого подхода, поскольку они, как правило, носят последовательный характер, а изменения стоят дорого, поскольку проекты продвигаются дальше по жизненному циклу. Изменение во время проектирования может стоить 1 доллар, но во время активного строительства внедрение будет стоить 100 долларов, поэтому существует серьезный стимул внести изменения в проект как можно раньше, а затем выполнить проекты. Кроме того, существует опасение, что этот подход не подходит для строго регулируемых отраслей, таких как ядерная или медицинская.

Agile строится на документе под названием Agile Manifesto, который в 2001 г. создала группа известных разработчиков программного обеспечения, включающая создателей ряда известных методов управления разработкой.



Рис. 4. Agile Manifesto методология

Fig. 4. Agile Manifesto methodology

Данную методологию используют 9 % организаций. Концепция Agile изначально создавалась для разработки программного обеспечения, но сейчас она используется и во многих других отраслях вплоть до подхода к управлению предприятием в целом.

Многokrатный подход в разработке программного обеспечения заключается в одновременном выполнении поставленных задач, анализе полученных результатов и корректировке ранее созданных этапов работы. В каждой фазе развития проект проходит повторяющийся цикл: планирование — реализация — проверка — оценка.

При данном подходе каждая фаза процесса разработки ПО состоит из циклов, т.е. из постепенного осознания имеющихся проблем, увеличения эффективности решений и снижения риска вероятных ошибок в проекте. В результате каждой итерации создается конечная версия работающего программного продукта.

Такой подход позволяет не только учитывать новые требования, но и выявлять проблемы проекта на ранних этапах разработки, что связано с меньшими затратами. Суть итеративной разработки показана на рис. 4.

Негибкие методологии, такие как PMBoK, не позволяют изменять требования в ходе проекта, мотивируя это наличием устава, при изменении которого фактически начинается новый проект. На решение этой задачи пришли гибкие методологии, которые позволяют изменять задачи, включать новые идеи, подстраиваться под все новые «хотелки» заказчика. Кроме того, при использовании модели водопада трудно оценить возможные риски и степень их влияния, что в конечном итоге приводит к появлению дополнительных работ, смещению сроков сдачи проекта и увеличению его стоимости.

Инициация и планирование реализуются для всего проекта, разработка, тестирование и другие этапы проводятся для отдельных мини-проектов, что позволяет быстрее передавать результаты, начи-

ная новый подпроект, вносимые в него изменения исключают большие затраты и воздействие на другие составляющие.

Agile Manifesto состоит из четырех ключевых ценностей и 12 принципов [13].

Ценности:

- люди и взаимодействие важнее процессов и инструментов;
- работающий продукт важнее исчерпывающей документации;
- сотрудничество с заказчиком важнее согласования условий контракта;
- готовность к изменениям важнее следования первоначальному плану.

Agile включает в себя такие методологии, как Extreme programming, Scrum, DSDM, Adaptive Software Development, Crystal Clear, Feature-Driven Development, Pragmatic Programming, Kanban и др. [14].

Agile-методология — подход, предполагающий присутствие всех, кто занимается разработкой определенного проекта. При этом каждый специалист выполняет свою работу.

Разновидности методологии Agile Manifesto:

- 1) Agile Modeling (AM);
- 2) Agile Unified Process (AUP);
- 3) Agile Data Method (ADM);
- 4) Dynamic Systems Development Method (DSDM);
- 5) Essential Unified Process (EssUP);
- 6) Extreme Programming (XP);
- 7) Feature-Driven Development (FDD);
- 8) Getting Real (GR);
- 9) OpenUP (OUP);
- 10) Lean software development;
- 11) Scrum.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнение PRINCE 2, Agile Manifesto и PMI представлено в табл. 1.

Табл. Сравнение PRINCE 2, Agile Manifesto и PMI

Table. Comparison of PRINCE 2, Agile Manifesto and PMI

Признак для сравнения Comparable features	PRINCE 2	Agile Manifesto	PMI
Автор Developer	Центральное компьютерное и телекоммуникационное агентство Великобритании Central Computer and Telecommunications Agency, UK	Альянс agile (глобальная некоммерческая организация) Agile Alliance (a global non-profit organization)	Международный некоммерческий институт управления проектами Project Management Institute, an international nonprofit organization
Отраслевая специфика Distinctive features of the industry	Универсален и не зависит от отрасли (исходно ориентирована на ИТ-проекты) Universal and industry independent (initially focused on IT projects)	Универсален и не зависит от отрасли Universal and industry independent	Универсален и не зависит от отрасли Universal and industry independent
Связь с жизненным циклом проекта Connection with the project life cycle	Применим к любой модели жизненного цикла проекта ¹ Applicable to any project lifecycle model ¹	Определяет жизненный цикл проекта Determines the life cycle of a project	Применим к любой модели жизненного цикла проекта Applicable to any project lifecycle model
Минусы методологий Disadvantages of methodologies	Отсутствие регламентирования со стороны методологии подходов к управлению контрактами поставок Unavailability of methodology-induced regulation of approaches to supply contract management	Отсутствие подробной документации; отсутствие понимания конечного результата планирования; непредсказуемые сроки и бюджет разработки Unavailability of detailed documentation; unavailability of understanding in terms of the ultimate result of planning; unpredictable development dates and budget	Громоздкость; большие затраты на планирование и разработку документации; сложность управления небольшими проектами Bulkiness; high costs of documentation planning and development; complex management of small projects
Основные проектные ограничения (параметры) Main design constraints (parameters)	Затраты, сроки, качество, содержание, риски, выгоды от реализации Costs, dates, quality, content, risks, implementation benefits	Критичность, квалификация, динамизм, культура Criticality, qualification, dynamism, culture	Сроки, затраты, содержание, качество, риски, ресурсы, удовлетворенность заказчика Dates, costs, content, quality, risks, resources, customer satisfaction

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведя анализ указанных методологий управления проектами, можно заметить, что каждый из методов является универсальным и не зависит от отрасли, где возможно их применять. Каждая из методологий имеет характерные ценности и признаки, данные подходы к управлению проектами всемирно признаны и практикуются на всех континентах.

Из всего вышесказанного можно сделать общие рекомендации по выбору методологии:

¹ Manifesto for Agile Software Development. URL: <http://agilemanifesto.org/>

1) для проекта с определенными сроками, бюджетом и пониманием продукта предпочтительнее использовать РМВоК;

2) для проектов с большой степенью неопределенности и большими рисками, проектов, ориентированных на ИТ-сектор, или с небольшими капитальными вложениями, лучше сделать выбор в пользу гибких методологий;

3) среднее между жестко структурированным РМВоК и гибкими методологиями представляет из себя PRINCE 2, его можно считать «смягченной» версией РМВоК.

На данный момент строительные компании все чаще сталкиваются с проблемами сотрудничества

между подразделениями строительной фирмы. Это можно объяснить рядом причин:

- преимущества вертикальной структуры управления с минимальными взаимодействиями между подразделениями;
- отсутствие единой системы оптимизации работы по определенному направлению;
- нехватка качественного планирования этапов создания строительства в условиях большого количества имеющихся строительных направлений;
- тяжесть планирования бюджета и т.д.²

Решением указанных проблем может стать применение проектно-ориентированного управления строительным бизнесом в целом, а также отдельными его программами и направлениями.

Проектно-ориентированное управление — это управленческий подход, при котором отдельно взятые заказы и задания, решаемые в рамках деятельности строительной организации, рассматриваются как отдельные проекты, к которым применяются принципы и методы управления проектами [15].

Проектно-ориентированное управление применяется в строительных организациях, деятельность которых осуществляется в виде непрерывного выполнения большого количества проектов. Так, для разработки каждого отдельного здания собирается команда архитекторов, разработчиков и других специалистов, которые совместно работают над достижением цели и пользуются выделенными на это ресурсами. Отдельными проектами также являются модификации, создание и сервисное обслуживание. Поэтому проектно-ориентированное управление для строительных предприятий является необходимостью.

² Инвестиционные строительные проекты. Архитектура. Проектирование домов. Готовые проекты. URL: http://www.project.bulgaria-burgas.ru/plant-2_plan.htm.

Сейчас на предприятиях строительной отрасли все проекты реализуются путем выполнения конкретных функций всеми подразделениями, что не всегда является эффективным и целесообразным. Поэтому необходимо осуществить переход к проектно-ориентированному управлению с функциональной поддержкой проектов всеми необходимыми подразделениями строительных организаций.

Процесс принятия решения о целесообразности реализации того или иного проекта строительства промышленного объекта (ПБПО) требует от принимающего решение лица обработки значительного объема информации, масштабного анализа результирующих показателей, прогнозных данных и т.п. Это связано в первую очередь со спецификой ПБПО, а именно его значительными масштабами, высокой уникальностью, зависимостью от технологии, которая в дальнейшем будет обеспечивать производственный процесс промышленного объекта, и от поставщика необходимого специфического оборудования. Во-вторых, как реализация ПБПО, так и его дальнейшее функционирование, подвержены рискам возникновения внешних и внутренних угроз, рискам и вызовам при переходе к поведенческой экономике, что является современным трендом развития бизнес-среды государства. Все это обуславливает необходимость проведения дополнительного анализа и доработки на его основе существующей методологической базы с целью обеспечения актуальным научно обоснованным инструментарием для управления ПБПО на стадии инициации и для принятия решений о целесообразности их реализации.

Проведенное авторами исследование позволяет сделать вывод о том, что создание и использование методологии вносят огромный вклад в улучшение взаимодействия государства и бизнеса, улучшают контроль за выполнением проектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Смирнов Д.В.* Исследование методов и моделей, применяемых в управлении проектом развития производственного предприятия : дис. ... магистра. СПб., 2014. 94 с. URL: <https://elibrary.spbstu.ru/dl/2/5271.pdf/download/5271.pdf?lang=en>
2. *Андреев А.А., Бурков В.Н., Воронаев В.И., Дорожкин В.Р., Дубовик М.Ф., Миронова Л.В. и др.* Управление проектами: Основы профессиональных знаний, Национальные требования к компетентности специалистов. М. : Проектная практика, 2010. 256 с. URL: <http://www.sovnet.ru/upload/publications/ntk.pdf>
3. *Юзефович А.Н.* Организация, планирование и управление строительным производством / под общ. ред. П.Г. Грабового. Липецк : Информ, 2006. 304 с.
4. *Долженко Ю.А.* Методика оценки уровня инновационности инвестиционно-строительных проектов : автореф. дис. ... канд. экон. наук. СПб., 2009. 28 с. URL: <https://www.dissertat.com/content/metodika-otsenki-urovnya-innovatsionnosti-investitsionno-stroitelnykh-proektov>
5. *Баскаков К.О.* База проектов аналогов как инструмент оценки эффективности инвестиционно-строительных проектов // *Modern Science*. 2019. № 3. С. 104–110. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37219410&>
6. *Ручкин А.В., Трофимова О.М.* Управление проектами: основные определения и подходы // *Вопросы управления*. 2017. № 3 (46). С. 121–128. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-proektami-osnovnyye-opredeleniya-i-podhody>

7. Бутин Д.А. Виды методологий, применяемых в управлении проектами: сравнительная характеристика // Неделя науки СПбПУ : мат. науч. конф. с междунар. участием. Ч. 2. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2017. С. 154–157.

8. Бияк Л.Л., Ненуженко С.А. Роль проектного управления в реализации приоритетных государственных проектов // Актуальные вопросы экономики и управления : мат. V Междунар. науч. конф. (г. Москва, июнь 2017 г.). М. : БукиВеди, 2017. С. 12–15.

9. Баширова Э.И.-Э. Организационно-экономические основы управления процессами формирования и реализации инвестиционно-строительных проектов : автореф. дис. ... канд. экон. наук. СПб., 2010. 24 с. URL: <https://www.dissercat.com/content/organizatsionno-ekonomicheskie-osnovy-upravleniya-protssami-formirovaniya-i-realizatsii-in>

10. Брусницына М.Н. Основы управления проектами в организации // Молодой ученый. 2019. № 43 (281). С. 159–163. URL: <https://moluch.ru/archive/281/63378/>

11. Бутин Д.А., Бурмистров А.Н. Модели жизненных циклов проекта: сравнительная характеристика // Неделя науки СПбПУ : мат. науч. конф.

с междунар. уч. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. С. 310–312.

12. Ермоленко Е.В. Международные стандарты IPMA и PMI: в чем разница? // Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития. 2014. № 17. С. 16–19. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhdunarodnye-standarty-ipma-i-pmi-v-chem-raznitsa>

13. Киселица Е.П., Велижанин В.Л. Классификация методологий управления проектами // Глобализация — путь к объединению : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Л.В. Бычковой, В.М. Кузьминой. Курск, 2015. С. 129–133.

14. Хабаров В.И., Тищенко К.В. Особенности выбора методов управления проектом // Вестник Академии. 2017. № 1. С. 54–58. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29028046>

15. Алеева Е.Е. Мировые методы и механизмы внедрения стратегии проектно-ориентированного подхода // International Scientific Review of the Problems and Prospects of Modern Science and Education : XLIV Int. Sci. and Pract. Conf. (Boston, USA — 25 April, 2018). URL: <https://scientific-conference.com/h/sborniki/ekonomicheskie-nauki/1117-world-methods.html>

Поступила в редакцию 18 апреля 2020 г.

Принята в доработанном виде 9 августа 2020 г.

Одобрена для публикации 31 августа 2020 г.

ОБ АВТОРАХ: **Илья Сергеевич Горобинский** — магистрант; **Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)**; 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29; SPIN-код: 5270-7242, ORCID: 0000-0003-0244-6076; gorobinskij.is@edu.spbstu.ru;

Юлианна Андреевна Демидова — студент высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства; **Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)**; 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29; ORCID: 0000-0003-4880-887X; juliaandreeva99@mail.ru;

Юлия Александровна Прунова — магистрант; **Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)**; 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29; SPIN-код: 9604-8248, ORCID: 0000-0003-3864-3063; prunova96@mail.ru;

Ирина Станиславовна Птухина — кандидат технических наук; **Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)**; 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29; РИНЦ ID: 623323, Scopus: 562334473000, ResearcherID: AAG-8093-2020, ORCID: 0000-0003-0054-2793; Ptuхина_is@spbstu.ru.

REFERENCES

1. Smirnov D.V. *The study of methods and models used in project management development of a manufacturing enterprise : Master Dis.* St. Petersburg, 2014; 94. URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/5271.pdf/download/5271.pdf?lang=en> (rus.).

2. Andreev A.A., Burkov V.N., Voropaev V.I., Dorozhkin V.R., Dubovik M.F., Mironova L.V. et al. *Project management: Fundamentals of professional knowledge, National Requirements for the competence of specialists.* Moscow, Project Practice, 2010; 256.

URL: <http://www.sovnet.ru/upload/publications/ntk.pdf> (rus.).

3. Yuzefovich A.N.; Grabovoy P.G. (ed.). *Organization, planning and management of construction production.* Lipetsk, Inform, 2006; 304. (rus.).

4. Dolzhenko Yu.A. *Methodology for assessing the level of innovation of investment and construction projects : abstract of Cand. Econ. Sci. Dis.* St. Petersburg, 2009; 28. URL: <https://www.dissercat.com/con>

tent/metodika-otsenki-urovnya-innovatsionnosti-investitsionno-stroitelnykh-proektov (rus.).

5. Baskakov K.O. The base of analog projects as a tool for assessing the effectiveness of investment and construction projects. *Modern Science*. 2019; 3:104-110. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37219410&> (rus.).

6. Ruchkin A.V., Trofimova O.M. Project management: basic definitions and approaches. *Management Issues*. 2017; 3:121-128. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-proektami-osnovnye-opredeleniya-i-podhody> (rus.).

7. Butin D.A. Types of methodologies used in project management: comparative characteristics. *Science Week SPbPU : materials of a Sci. Conf. with Int. Participation*. Part 2. Saint Petersburg, Publishing house of Polytechnic. un-ta, 2017; 154-157. (rus.).

8. Biyak L.L., Nenuzhenko S.A. The role of project management in the implementation of priority state projects. *Actual Problems of Economics and Management : materials of the V Int. Sci. Conf. (Moscow, June 2017)*. Moscow, Buki Vedi, 2017; 12-15. (rus.).

9. Bashirova E.I.-E. *Organizational and economic foundations of managing the processes of formation and implementation of investment and construction projects : Abstract of Cand. Econ. Sci. Dis.* St. Petersburg, 2010; 24. URL: <https://www.dissercat.com/content/organizatsionno-ekonomicheskie-osnovy-upravleniya-protsessami-formirovaniya-i-realizatsii-in> (rus.).

10. Brusnitsyna M.N. Fundamentals of project management in the organization. *Young scientist*. 2019;

43:159-163. URL: <https://moluch.ru/archive/281/63378/> (rus.).

11. Butin D.A., Burmistrov A.N. Project life cycle models: comparative characteristic. *Science Week SPbPU : materials of a Sci. Conf. with Int. Participation*. Saint Petersburg, Publishing house of Polytechnic. un-ta, 2016; 310-312. (rus.).

12. Ermolenko E.V. International IPMA & PMI Standards: What is the Difference? *Economics and management: analysis of trends and development prospects*. 2014; 17:16-19. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhdunarodnye-standarty-ipma-i-pmi-v-chem-raznitsa> (rus.).

13. Kiselitsa E.P., Velizhanin V.L. Classification of project management methodologies. *Globalization — the way to association : a coll. sci. articles of the Int. Sci. and Pract. Conf.* Bychkova L.V., Kuzmina V.M. (eds.). Kursk, 2015; 129-133. (rus.).

14. Khabarov V.I., Tishchenko K.V. Peculiarities selection of design methodologies. *Academy Herald*. 2017; 1:54-58. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29028046> (rus.).

15. Aleeva E.E. World methods and mechanisms for implementing the strategy of project-oriented approach. *International Scientific Review of the Problems and Prospects of Modern Science and Education : XLIV Int. Sci. and Pract. Conf. (Boston, USA — 25 April, 2018)*. URL: <https://scientific-conference.com/h/sborniki/ekonomicheskie-nauki/1117-world-methods.html> (rus.).

Received April 18, 2020.

Adopted in revised form on August 9, 2020.

Approved for publication on August 31, 2020.

Bionotes: Ilya S. Gorobinskiy — Master's degree courses; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU); 29 Politechnicheskaya st., St. Petersburg, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 5270-7242, ORCID: 0000-0003-0244-6076; gorobinskiy.is@edu.spbstu.ru;

Yulianna A. Demidova — a student of the Higher School of Industrial-Civil and Road Construction; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU); 29 Politechnicheskaya st., St. Petersburg, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4880-887X; juliaandreeva99@mail.ru;

Yuliya A. Prunova — Master's degree courses; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU); 29 Politechnicheskaya st., St. Petersburg, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 9604-8248, ORCID: 0000-0003-3864-3063; prunova96@mail.ru;

Irina S. Ptukhina — Candidate of Technical Sciences; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU); 29 Politechnicheskaya st., St. Petersburg, 129337, Russian Federation; ID RISC: 623323, Scopus: 562334473000, ResearcherID: AAG-8093-2020, ORCID: 0000-0003-0054-2793; Ptuhina_is@spbstu.ru.

Экономические и правовые аспекты оценки эффективности градостроительных преобразований территории

С.А. Ершова¹, С.А. Шишелова¹, Т.Н. Орловская²

¹Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга» (СПб ГКУ «НИИЦ Генплана Санкт-Петербурга»);
г. Санкт-Петербург, Россия;

²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ);
г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Противоречие между требованием нормативных правовых актов по обязательному учету экономических факторов при подготовке градостроительной документации и отсутствием утвержденного механизма реализации этого требования оказывает существенное влияние на принятие решений по градостроительному преобразованию территорий. Отсутствие единых подходов к оценке экономической эффективности градостроительных решений, утвержденного механизма ее проведения, информационной базы — все в совокупности тормозит процесс принятия обоснованных решений по развитию города. В этой связи разработка концептуальных основ оценки эффективности мероприятий комплексного развития территорий и механизма ее проведения особенно актуальна. Предмет исследования — нормативно-методическое обеспечение градостроительного развития территорий, цель — анализ основных проблем нормативной поддержки оценки эффективности градостроительного развития территорий.

Материалы и методы. Использовался социопрограммный подход, позволяющий учесть объективные и субъективные факторы формирования качественной городской среды на разных стадиях разработки градостроительной документации. В рамках данного подхода на основе методов сравнительного и логического анализа, экспертной оценки проведены исследования материалов зарубежных и российских ученых, российских нормативных правовых актов, методической документации в области процесса проведения оценки эффективности градостроительного развития территории городов.

Результаты. Выявлены наиболее сложные теоретические и методические проблемы оценки эффективности градостроительных преобразований территории, предложен алгоритм ее проведения, разработаны предложения по организации процесса оценки эффективности градостроительного преобразования территории при подготовке градостроительной документации. Сформулированы основные этапы работ по оценке и главные цели каждого из этапов.

Выводы. Научная новизна и практическая значимость исследования обусловлены выявленными проблемами в области нормативного обеспечения оценки и предложениями последовательности оценки экономической эффективности градостроительных преобразований территории, позволяющей обеспечить всех субъектов градостроительной деятельности единым, научно обоснованным механизмом обоснования принимаемых градостроительных решений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оценка эффективности, градостроительное преобразование территории, градостроительная документация, социопрограммный подход, качество городской среды, качество жизни населения, нормативная модель, нормативы градостроительного проектирования, комплексное и устойчивое развитие территории, мониторинг

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ершова С.А., Шишелова С.А., Орловская Т.Н. Экономические и правовые аспекты оценки эффективности градостроительных преобразований территории // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 9. С. 1308–1320. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1308-1320

Efficiency assessment of urban planning transformations: economic and legal aspects

Svetlana A. Ershova¹, Svetlana A. Shishelova¹, Tamara N. Orlovskaya²

¹State Research and Design Center of Saint Petersburg Master Plan; Saint Petersburg, Russian Federation;

²Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU);
Saint Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. A discrepancy between legislative requirements for the compulsory recognition of economic factors in the process of drafting urban planning documents, on the one hand, and the unavailability of an approved implementation procedure, on the other hand, makes a substantial impact on decision making processes that deal with urban planning transformations. The unavailability of (a) unified approaches to the assessment of the economic efficiency of urban planning solutions, (b) an approved efficiency assessment procedure or (c) a database decelerates the process of making well-grounded urban development decisions. Therefore, development of a conceptual framework for the efficiency assessment in terms of integrated urban development actions and their implementation procedures is particularly relevant. The subject

of this research consists in the study of the regulatory/methodological framework of urban development, and its mission is to analyze the main regulatory problems that accompany the efficiency assessment of urban development.

Materials and methods. The co-authors employed a socio-spatial approach that takes account of objective and subjective factors of a high-quality urban environment at various stages of the urban planning documentation drafting process. Within the framework of this approach, methods of comparative/logical analysis were applied, expert evaluations were made, materials, developed by foreign and Russian scientists, Russian legislative acts, methodological documents were studied with regard to the evaluation of the urban development efficiency.

Results. The co-authors identified gravest theoretical and methodological problems of urban transformation efficiency assessment. An assessment procedure was developed. The co-authors suggested organizing the urban transformation efficiency assessment in the course of drafting urban planning documentation. Principal efficiency assessment stages were identified, and the main objectives of each stage were formulated.

Conclusions. The novelty and practical relevance of this research reside in the fact that the co-authors have identified problems of the legal framework of assessment procedures and suggested a sequential estimation of the economic efficiency of urban transformations so that each subject of urban planning activities followed a unified research-driven decision making procedure.

KEYWORDS: efficiency assessment, urban planning development, urban planning documentation, socio-spatial approach, urban environment quality, living standards, normative model, standards of urban design, integrated sustainable development of areas, monitoring

FOR CITATION: Ershova S.A., Shishelova S.A., Orlovskaya T.N. Efficiency assessment of urban planning transformations: economic and legal aspects. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(9):1308-1320. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1308-1320 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Градостроительное развитие территории, направленное на повышение качественных характеристик урбанизированной среды, должно сопровождаться рациональным и эффективным расходованием бюджетных средств, сбалансированным учетом государственных, общественных и частных интересов. Необходимой и обязательной предпосылкой для комплексного и устойчивого развития урбанизированной территории, обеспечивающей достойный уровень качества жизни населения и качества городской среды, является экономическая и правовая обоснованность принимаемых управленческих решений. Как отмечает Л.Я. Герцберг [1, с. 11]: «Реальность реализации намеченных мероприятий и проектов обеспечивается указанием источников финансирования и подтверждается бюджетами разного уровня». Однако сегодня, как, впрочем, и ранее, взаимосвязь социально-экономического и территориального планирования не подкреплена финансовыми ресурсами, а реализация принятых планов создания безопасных и благоприятных условий жизнедеятельности, также как и в период плановой экономики [2–4], тормозится из-за отсутствия бюджетных средств. Одной из наиболее острых проблем управления качеством городской среды, отмеченных в работах Л.Я. Герцберг [5, 6], является не только ограниченность финансовых возможностей органов власти, но и отсутствие единой методики оценки комфортности проживания.

Основные трудности при разработке единых методических основ оценки эффективности градостроительных преобразований в первую очередь обусловлены тем, что градостроительство затрагивает чрезвычайно широкие сферы деятельности, проявляя эффекты в социальной, экономической, экологической и иных сферах, стоимостная оценка

которых не всегда возможна. Сложность проведения самой оценки объясняется тем, что достигаемый эффект неравномерно распределен во времени, последствия реализации градостроительных решений обладают эхо-эффектом, проявляющимся в различных областях хозяйственной деятельности, поэтому анализ эффективности с использованием стандартного инвестиционного метода оценки эффективности СВА (Cost-Benefit Analysis) затруднен, особенно для такого мегаполиса, как Санкт-Петербург.

В условиях глобального экономического кризиса, угрозы пандемии новой коронавирусной инфекции и необходимости жесткого контроля за расходованием бюджетных средств, разработка методических основ механизма проведения оценки эффективности градостроительных преобразований территорий, способствующего формированию обоснованных управленческих решений, упорядочению и легитимизации процесса оценки, бесспорно, является актуальной.

Главная задача исследования — анализ основных проблем нормативной поддержки оценки эффективности градостроительного развития территорий с целью разработки предложений по оценке эффективности градостроительного преобразования территорий.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ БАЗА ИССЛЕДОВАНИЯ

Проблемы развития городов широко исследуются в научных работах различной отраслевой направленности. Востребованность подобных исследований предопределена значимостью глобальной тенденции урбанизации, влиянием происходящих процессов на мирохозяйственные связи, социально-экономический и психологический климат. Вызовы и угрозы, сопровождающие эти процессы, меняют

социальные и экономические уклады, являясь отправной точкой для пристального внимания и изучения различных отраслей знаний, каждая из которых привносит в решение проблем собственные методологические подходы, принципы и методы [7–9].

Характерной чертой сегодняшнего дня становится отмечаемое многими учеными пересечение коммерческих и социально значимых вопросов, «меняющих логику» [10, с. 8] происходящих в градостроительстве процессов. Объективность логического переосмысления целей и задач градостроительного преобразования территорий в значительной степени обусловлена потребностями общества, органов власти, населения в формировании условий для комплексного и устойчивого развития городской среды.

Необходимость научного обоснования градостроительного развития территорий отмечена в работах В.И. Сарченко, Б.С. Жихаревича, С.В. Кузнецова, В.В. Окрепилова, Н.М. Межевич [11–14]. Цель градостроительного преобразования территорий городов — необходимость создания безопасных и благоприятных условий жизнедеятельности. То есть ориентация на качественные составляющие городской среды должна стать приоритетной при разработке генеральных планов и проектов планировки территории.

В исследованиях И.Г. Лукмановой и В.И. Сарченко [15, 11, 16, 17] на основе нормативно-факторного подхода предложен метод интегральной оценки скрытого потенциала развития городских территорий крупных городов. Важной составляющей предлагаемой методики является обязательность учета параметров генпланов развития города, итоговая оценка учитывает показатели качества застройки и ее комплексность [17, с. 62]. Специфика научного исследования заключается в рассмотренной и оцененной авторами эффективности использования «неудобных для застройки» территорий города.

К одному из перспективных и современных направлений в теории и методах исследования развития города можно отнести выдвинутую А.Н. Ларионовым научную идею «оживления жизненного пространства» путем создания «живых» домов, их влияния на жизненный потенциал города [18].

В научном исследовании Ю.В. Ларионовой, А.Н. Ларионова, С.А. Павловой, Н.Г. Горшкова [19] акцент сделан на необходимость совершенствования механизмов формирования обоснованных решений в области жилищного строительства, результатом которой станет не только эффективное развитие селитебных территорий, но и будет достигнут эффект синергии в смежных отраслях. Исследование опирается на диалектический подход, авторы используют методы сравнения, обобщения и статистического анализа. В качестве главного ориентира в решении проблемы создания качественного жилья и качественной среды предложен коэффициент до-

ступности жилья [19, с. 25]. По мнению авторов, главная задача органов власти состоит в организационно-финансовом обеспечении комплексности застройки территорий города [19, с. 98].

Необходимость учета требований к качеству городской среды при формировании жилищной и градостроительной политики отмечена и в работе Н.Б. Косаревой, А.С. Пузанова, Т.Д. Полиди [20, с. 53].

Результаты зарубежных исследований глобальных городов показывают тесную связь градостроительной политики и стратегий развития города¹. Однако в России по состоянию на 2011 г. в области взаимосвязи социально-экономического и пространственного развития «законодательно закреплена пассивная роль градостроительного планирования в социально-экономическом развитии территорий», вследствие чего «отпадает необходимость разработки механизмов реализации градостроительных мероприятий» [1, с. 11]. Вместе с тем анализ работ ведущих ученых, например [1, 2, 11, 14, 21–23], подтверждает влияние градостроительных факторов на формирование качества городской среды, следовательно, установление механизма, позволяющего оценить целесообразность градостроительного преобразования территорий города и показателей оценки эффективности принимаемого решения, объективно необходимо.

На основе научных трудов П. Холла, П. Тейлора [24, 25] разработан методический инструмент оценки глобальности города, а в зарубежной практике широко используются методы рейтингования, оценки качества городской среды и качества жизни, как показателей конкурентоспособности городов, проводится комплексный анализ развитости урбанизированных территорий, устанавливаются диспропорции их территориального развития [26]. Как отмечено в работах [5, 6, 27], особую сложность представляют количественная оценка интегрального показателя и механизм проведения такой оценки.

Зарубежные методики исследования городского пространства и креативного потенциала российских городов^{1, 2} позволяют провести оценку перспектив модернизации экономики города на основе системного подхода к анализу урбанизированной территории крупных российских городов, создать систему мониторинга социокультурного разнообразия городского пространства с использованием экспертных методов, анкетирования и методов ранжирования. В число показателей одного из базовых

¹ Мегалополис будущего. Пространство для жизни. Краткие выводы исследования. PwC. 2018. 28 с. URL: <https://www.pwc.ru/ru/publications/megapolis-future-rus.pdf>

² Индекс креативного капитала российских городов. Методология и результаты исследования 2016. PwC. 2016. URL: http://creativecapitalindex.com/uploads/attachment/file/28/CCI_Otchet_01032017.pdf

блоков оценки креативного потенциала города входят показатели экономического положения города, развитости социальной инфраструктуры, комфортности городской среды².

Объективные трудности адаптации предложенных зарубежных методик к российским условиям заключаются в недостаточности и неполноте информационных данных о развитости российских городов. Формирование современного цифрового общества, способствующего решению многих проблем, связанных с обеспечением социально-экономического и пространственного развития территорий, — одно из ключевых направлений разработки методической базы управления развитием города [28, 29]. Внедрение цифровых платформ в градостроительную деятельность в значительной степени способствует контролю за реализацией планов и мероприятий по развитию территории города, заложенных в генеральных планах и проектах планировки территории. Базовой составляющей цифровизации развития города является разработанная и законодательно утвержденная система мониторинга. Л.Я. Герцберг особо выделена необходимость осуществления мониторинга реализации положений генерального плана и достигнутого качества городской среды [30, 31], как действенного инструмента процесса оценки эффективности градостроительного преобразования территорий.

Дискуссионными являются вопросы перечня показателей оценки эффективности градостроительного преобразования территорий. Методология сбалансированной оценки инвестиционной привлекательности региона, разработанная В.Н. Мякшиным [21] на основе концепции сбалансированной системы показателей, количество которых ограничено, дает возможность определить наиболее слабые точки развития территории и установить перспективные направления инвестиционного развития региона. В.И. Сарченко на одном из начальных этапов оценки скрытого потенциала предлагает оценивать соответствие параметров проектов и планов развития городских территорий нормативной модели, а в интегральную оценку закладывает показатели стоимости 1 м² общей площади жилья и планируемых к строительству объемов жилья [11]. Нормативная модель сформирована на основе функционального подхода, оценивая 10 факторов-показателей качества урбанизированной среды [11, с. 62]. Ориентация на нормативную модель, содержащую в том числе и стандарты качества среды, и качества жизни, прослеживается и в других работах [32]. Авторы статьи считают целесообразным формировать нормативную модель на основе показателей нормативов градостроительного проектирования, отражающих специфику города и являющихся, по сути, социальными стандартами качества городской среды конкретной территории. В публикации [33] при формировании перечня социально

значимых объектов для проведения оценки качества урбанизированной среды предложено использование функционально-атрибутивного подхода.

Интегральную оценку предлагается выполнять на основе корреляционно-регрессионного анализа и методов вычисления евклидовых расстояний [16]. Методы оценки близости территорий, разработанные О. Буба-Ольга и М. Гроссети [34], также целесообразно использовать в расчетах интегрального показателя.

По результатам исследования С.В. Кузнецова, В.В. Окрепилова, Н.М. Межевич и М.В. Свириденко и сделанному ими выводу о противовесе теории и практики управления городом можно констатировать, что «в основе содержания теоретических концепций развития городов, как правило, лежит доминирующая парадигма экономического мышления», тогда как «практика управления городом в значительной степени зависит от ... системы управления» [14, с. 46]. Зарубежные авторы¹ также полагают, что в основе практически всех предлагаемых концепций развития мегаполисов доминирует экономическая составляющая несмотря на то, что цели пространственного развития мегаполисов ориентируют на комфортное для жизни горожан устойчивое развитие территорий.

По мнению ведущих ученых, происходящая в различных отраслях смена ориентиров, востребованность «не самоорганизующихся, а самооптимизирующихся систем и процессов» и одновременно «массовый запрос на уникальность» [10, с. 8], вынуждают органы власти обосновывать принимаемые решения на различных стадиях градостроительного проектирования.

Анализ теоретических и методологических положений системы градостроительного планирования и проектирования [3, 4], оценки скрытого инвестиционного потенциала [10, 16, 17], концепции «оживления жизненного пространства городов» [18, 19], агломерационных процессов [14], теории развития глобальных городов и мегаполисов [24, 25] позволил выявить наиболее острые проблемы в области исследования: необходимость нормативной поддержки процесса оценивания; формирование нормативной модели на основе концепции «оживления жизненного пространства городов»; формирование перечня показателей, включаемых в нормативную модель, на основе критериев качества городской среды, а также нормативов градостроительного проектирования; формирование системы мониторинга в области градостроительства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование города как сложной социально-экономической системы, двойственность урбанизированной территории, отмеченная авторами [35], предполагает рассмотрение сочетания двух параме-

тров — территориального и отраслевого. Следовательно, логично рассмотрение градостроительных задач по формированию мероприятий по градостроительному преобразованию территорий в рамках социопространственного подхода, оперирующего понятиями «социум» и «территория» [34, 37]. В работе использованы общенаучные методы исследования: логического и сравнительного анализа, экспертных оценок.

В процессе исследования:

- изучены работы российских и зарубежных ученых в области градостроительства, региональной экономики, экономики города¹ [1–20, 24, 25];
- изучены результаты зарубежных исследований городских пространств глобальных городов и оценки креативного капитала российских городов^{1,2};
- проведен анализ российских нормативных правовых актов и методической документации в области организации работ по оценке эффективности градостроительных преобразований территории.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В соответствии с действующим законодательством³ учет экономических факторов при подготовке градостроительной документации всех видов обязателен. Однако правовой механизм реализации этой нормы не установлен, не определены порядок и процесс оценки экономической эффективности принимаемых органами власти решений на всех этапах градостроительной деятельности.

Действующая методика по оценке эффективности конкретных инвестиционных проектов⁴ неприменима к документации по планировке территории, в том числе и при подготовке генерального плана города федерального значения Санкт-Петербурга. Методика оценки эффективности государственных (муниципальных) программ^{5,6} также не может быть

³ Градостроительный кодекс РФ от 29.12.2004 № 190-ФЗ.

⁴ Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов : утв. Приказом Минэкономики России, Приказом Минфина России, Приказом Госстроя России от 21.06.1999 № ВК477.

⁵ Об утверждении Порядка предоставления государственных гарантий на конкурсной основе за счет средств Бюджета развития Российской Федерации и Положения об оценке эффективности инвестиционных проектов при размещении на конкурсной основе централизованных инвестиционных ресурсов Бюджета развития Российской Федерации : Постановление Правительства РФ от 22.11.1997 № 1470.

⁶ Об утверждении методических указаний по подготовке стратегического и комплексного обоснований инвестиционного проекта, а также по оценке инвестиционных проектов, претендующих на финансирование за счет средств Фонда национального благосостояния и (или) пенсионных накоплений, находящихся в доверительном управлении государственной управляющей компании, на возвратной основе : Приказ Минэкономразвития России от 14.12.2013 № 741.

применена при оценке эффективности градостроительных преобразований в рамках подготовки градостроительной документации, поскольку государственные программы не являются единственным инструментом реализации градостроительной политики, а сама методика не учитывает множество трудно формализуемых факторов градостроительной деятельности.

Одна из масштабных методических разработок в области оценки экономической эффективности комплексного развития территорий — Методические рекомендации по оценке экономической эффективности мероприятий комплексного развития территорий, разработанные государственным автономным учреждением г. Москвы «Научно-исследовательский и проектный институт Градостроительного планирования города Москвы»⁷. Однако требования указанных методических рекомендаций применяются исключительно на территории г. Москвы и не могут применяться в иных субъектах РФ в силу особенностей нормативного регулирования, специфики территории и градостроительной практики в Москве и иных субъектах РФ.

Следует учитывать, что оценка эффективности должна и может осуществляться как с целью обоснования принимаемого решения на основе достижения прогнозируемых социального, экономического эффектов (априорная оценка эффективности), так и с целью подведения итогов реализации и необходимой корректировки в процессе реализации решения (апостериорная эффективность принятого решения, определяемая по результатам его реализации).

Основные цели проведения оценки эффективности реализации мероприятий градостроительного развития (преобразования) территорий:

- обеспечение формирования благоприятной среды жизнедеятельности;
- создание градостроительных условий для эффективного использования экономических и территориальных ресурсов.

Исходя из указанных целей должны быть решены следующие задачи оценки эффективности:

- подготовка обосновывающих материалов градостроительной документации в виде раздела по оценке экономической эффективности градостроительных преобразований, подлежащих, в том числе, обсуждению на публичных слушаниях;
- подготовка финансового обоснования для проекта бюджета региона или муниципального образования на соответствующий финансовый год;
- корректировка ранее принятых решений в сфере градостроительства.

В качестве основы для практической реализации мероприятий по оценке экономической эффективности градостроительных преобразований территории с целью установления единых методических подходов в каждом регионе должна быть разрабо-

⁷ Приказ Москомархитектуры от 06.12.2017 № 4151.

тана и утверждена методика такой оценки. Утвержденный нормативно-методический документ позволит обеспечить всех субъектов градостроительной деятельности единообразным, научно обоснованным и обязательным для применения инструментом учета экономических факторов при планировании мероприятий градостроительных преобразований в рамках подготовки различных видов и типов градостроительной документации, при решении задач развития территории, обеспечения эффективности расходования бюджетных средств и привлечения инвесторов для выполнения мероприятий на краткосрочной и долгосрочной перспективе.

При подготовке методики оценки эффективности градостроительных преобразований территории необходимо учитывать, что такая оценка может производиться на разных стадиях градостроительной деятельности и учитываться при подготовке различных видов градостроительной документации.

Исходя из задач планируемого развития и вида градостроительной документации, подлежащей разработке, определяется территория, в отношении которой будет осуществляться оценка эффективности градостроительных преобразований.

Кроме того, от вида градостроительной документации зависит определение сроков реализации соответствующих мероприятий, подлежащих оценке.

Практическими результатами оценки экономической эффективности планируемых градостроительных преобразований территории будут:

- подготовка соответствующего раздела обосновывающих материалов к документам территориального планирования, документации по планировке территории;
- подготовка утверждаемого раздела соответствующей документации, предусматривающего план реализации соответствующей документации, содержащего укрупненный расчет затрат на реализацию предусмотренных в документации мероприятий по строительству объектов капитального строительства, иных объектов, благоустройству территорий с определением источников финансирования основных мероприятий и последовательности их выполнения. Указанный раздел должен быть положен в основу разработки программ комплексного развития социальной, транспортной, инженерной инфраструктур, а также стать основанием для подготовки проектов бюджетов соответствующих уровней, государственных и муниципальных программ.

При организации оценки эффективности градостроительных преобразований территории целесообразны следующие этапы (рис. 1).

1. Комплексный анализ эффективности фактического использования территории

Выработка критериев для оценки фактического использования территории соответствующего

региона, населенного пункта и ее дальнейших градостроительных преобразований.

Например, эффективность инвестиций, направленных на градостроительное преобразование территорий, должна оцениваться с помощью установленной системы показателей, определяющих соотношение затрат (бюджетных и внебюджетных), доходов (в бюджет соответствующего уровня и коммерческих), социальных эффектов от реализации соответствующих мероприятий, экологических и иных результатов в зависимости от условий реализации тех или иных мероприятий, предусмотренных градостроительной документацией.

Проработка системы индикаторов, позволяющих определить достижение результата и оценить его.

Указанные индикаторы достижения результата будут зависеть от вида градостроительной документации и могут быть основаны на нормативах градостроительного проектирования, целевых показателях, содержащихся в стратегических документах региона и соответствующего муниципального образования.

2. Выявление резервов для развития территории

Определение перечня органов власти, органов местного самоуправления, участвующих в подготовке исходных данных, необходимых для осуществления оценки экономической эффективности, либо при осуществлении расчетов.

Нормативное закрепление соответствующих полномочий по участию в оценке эффективности градостроительных преобразований территории за конкретными органами власти позволит упорядочить их работу, повысить эффективность их взаимодействия и обеспечить ответственность за своевременное и полное предоставление соответствующей информации.

Создание информационной базы для расчета экономической эффективности, установление сроков предоставления информации и периодичности ее обновления (актуализации).

При создании такой информационной базы, которая может являться частью государственной (муниципальной) информационной системы, должны учитываться принципы формирования и использования данных: прозрачность, достоверность, актуальность, доступность и открытость, сопоставимость с официальными статистическими данными, применение утвержденных норм и расценок.

Указанные данные для расчета экономической эффективности градостроительных преобразований предоставляют профильные органы власти, осуществляющие управление в соответствующей сфере (строительство жилья, социальная политика, дорожное строительство, строительство инженерной инфраструктуры). В составе данных должна содержаться информация по удельным затратам

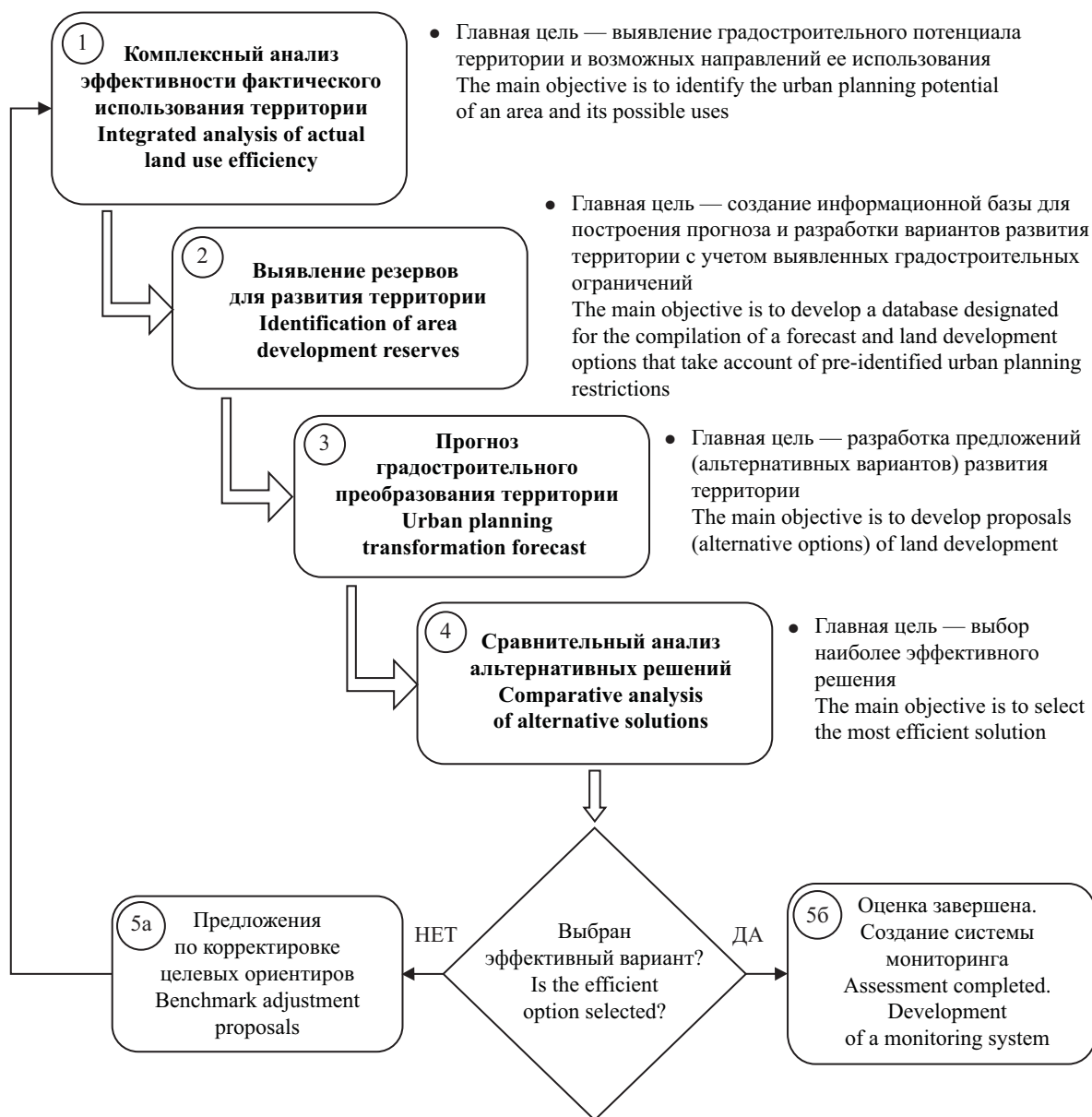


Рис. 1. Этапы оценки эффективности градостроительного преобразования территории

Fig. 1. Stages of efficiency assessment of urban planning transformations

на строительство объектов социальной, транспортной и инженерной инфраструктур. Подготовка этих сведений должна осуществляться на основании соответствующих правовых актов^{8,9}.

⁸ МДС 81-35.2004. Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации (принята и введена в действие с 9 марта 2004 г. постановлением Госстроя России от 05.03.2004 № 15/1).

⁹ Об утверждении Методических рекомендаций по применению государственных сметных нормативов — укрупненных нормативов цены строительства различных видов объектов капитального строительства непроизводственного назначения и инженерной инфраструктуры : Приказ Минрегиона РФ от 04.10.2011 № 481.

3. Прогноз градостроительного преобразования территории

Анализ и оценка градостроительного потенциала территории, в отношении которой планируется провести оценку эффективности.

Результаты оценки градостроительного потенциала как возможности для преобразования территорий должны стать исходными данными и материалами для расчета экономической эффективности градостроительных преобразований.

Этапы оценки градостроительного потенциала территории:

- анализ существующего состояния территории на основании аналитических материалов, информации от соответствующих органов власти;

- выявление градостроительных ограничений;
- инженерно-геологические особенности территории (на основании инженерных изысканий);
- параметры планируемого градостроительного развития;
- предложения физических и юридических лиц по планировочной организации рассматриваемой территории.

Установление перечня объектов капитального строительства, иных объектов, планируемых к размещению на соответствующей территории и необходимых для расчета оценки эффективности.

Определение такого перечня должно быть обосновано (например, для Санкт-Петербурга¹⁰).

При подготовке планировочной документации перечень объектов, подлежащих размещению на соответствующей территории, определяется исходя из задания на проектирование, требований правил землепользования и застройки и потребности населения соответствующей территории в объектах социальной, транспортной, инженерной инфраструктур, рассчитанной на основании нормативов градостроительного проектирования (например, для Санкт-Петербурга¹¹).

Подготовка укрупненного расчета капитальных вложений в строительство соответствующих объектов.

Расчет капитальных вложений осуществляется исходя из разделения затрат бюджета соответствующего уровня и инвестора на создание соответствующих объектов капитального строительства, благоустройства территории, эксплуатационных затрат.

Применение укрупненного расчета затрат при подготовке документов территориального планирования вызвано особенностями горизонта планирования: градостроительная документация предусматривает долгосрочную перспективу развития территорий, в связи с чем количественные и качественные характеристики планируемых к размещению объектов могут быть изменены, также может измениться потребность населения в объектах в связи с изменениями демографической ситуации, изменением законодательства (например, внедрением новых стандартов строительства жилья).

4. Сравнительный анализ альтернативных решений

Оценка бюджетной и коммерческой эффективности реализации мероприятий, предусмотренных градостроительной документацией, а также социальных эффектов.

¹⁰ О видах объектов регионального значения, подлежащих отображению на Генеральном плане Санкт-Петербурга : Закон Санкт-Петербурга от 11.07.2019 № 380-94.

¹¹ Об утверждении нормативов градостроительного проектирования Санкт-Петербурга : Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 11.04.2017 № 257.

Поскольку градостроительные преобразования затрагивают как интересы публично-правового образования, так и интересы инвесторов, в составе оценки эффективности планов по развитию урбанизированных территорий необходимо проводить оценку бюджетной эффективности (которая позволит оценить финансовые результаты для бюджетов разного уровня) и финансовую оценку результативности осуществленного инвестиционного проекта с точки зрения инвестора. На данном этапе осуществляются расчет затрат, оценка доходов, оценка рисков.

Бюджетная эффективность реализации проекта рассчитывается исходя из:

- оценки единовременных затрат бюджета на создание объектов социальной, инженерной и транспортной инфраструктур и т.д., а также ежегодных бюджетных расходов на эксплуатацию таких объектов;
- расчетов от единовременных поступлений в бюджет при продаже объектов недвижимости, а также ежегодных поступлений в бюджет (налоговые поступления, арендные платежи и т.д.).

При расчете экономической эффективности градостроительных преобразований с целью повышения инвестиционной привлекательности территории также должна учитываться коммерческая эффективность реализации проекта, которая рассчитывается исходя из:

- затрат инвестора (застройщика) на подготовку территории к застройке, на проектно-исследовательские работы, создание объектов капитального строительства, обслуживание кредита, страхование, развитие инженерной и транспортной инфраструктуры, строительство которой возложено либо планируется возложить на инвестора;
- доходов инвестора от продажи квартир в жилом комплексе, продажи или сдачи в аренду торговых и производственных, офисных помещений, торговых площадей.

При оценке эффективности, определяющей инвестиционную привлекательность территории, предлагается использовать действующие методики².

Финансово-экономическое обоснование эффективности реализации выбранного варианта развития территории.

Указанное финансово-экономическое обоснование должно стать обязательным разделом обосновывающих материалов соответствующей градостроительной документации, что требуется закрепить не только в методических документах, но и на законодательном уровне.

5. Создание эффективной системы мониторинга реализации мероприятий, предусмотренных градостроительной документацией, на основе цифровых платформ

Создание такой системы позволит обеспечить отслеживание результатов градостроительных преобразований с учетом проведенной оценки эконо-

мической эффективности, а также преемственность принимаемых решений.

Проведенный авторами анализ нормативного регулирования оценки эффективности градостроительного развития территорий, научных и методических предложений по проведению оценки, адекватности теоретико-методических разработок для возможности практического применения в российских городах позволил сделать выводы и сформулировать предложения по механизму и содержанию оценки:

- оценка эффективности градостроительного развития территорий должна рассматриваться как инструмент анализа соответствия потенциальных возможностей территории сложившимся и прогнозируемым потребностям населения и общества, на основе которого должны разрабатываться сценарии преобразования застройки города;

- существуют предпосылки для формирования перечня показателей оценки на основе нормативов градостроительного проектирования. Заложенная в таких нормативах система показателей учитывает специфику конкретной территории, содержит обоснования количественных значений показателей, отражает ресурсные возможности органов власти по обеспечению потребностей населения в объектах социальной инфраструктуры, формируя основу для создания качественной городской среды и являясь базой для принятия решений о целесообразности градостроительного преобразования территорий;

- основанием для формирования нормативной модели и выбора заложенной в ней системы показателей на основе нормативов градостроительного проектирования, являющихся, по сути, социальными стандартами качества урбанизированной среды, является нормативный характер документа, сами нормативы обязательны к применению при разработке градостроительной документации;

- механизм проведения оценки должен быть законодательно утвержден, что позволит сделать процесс обоснования необходимости градостроительного преобразования территории легитимным и прозрачным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования позволили сделать вывод о необходимости дальнейшей работы в об-

ласти оценки эффективности градостроительного развития территорий.

Предложенная последовательность оценки экономической эффективности градостроительных преобразований территории даст возможность обеспечить всех субъектов градостроительной деятельности единым, научно обоснованным механизмом обоснования принимаемых градостроительных решений с целью комплексной оценки градостроительного потенциала территории, повышения эффективности ее освоения, оптимизации бюджетных и коммерческих затрат при реализации документов территориального планирования, документации по планировке территории, иных видов градостроительной документации.

Наиболее острой проблемой в области формирования эффективной системы оценки градостроительного преобразования территорий является необходимость учета специфики города при формировании перечня показателей качества городской среды.

Слабое звено, тормозящее создание системы оценивания, отмечаемое российскими учеными, — отсутствие разработки системы мониторинга градостроительных процессов на основе цифровых платформ. Методические разработки по оценке эффективности комплексного развития территорий, выполненные для Москвы, подтверждают возможность создания необходимой информационной базы, однако в условиях других российских мегаполисов и городов в этой области еще много нерешенных методологических и методических проблем.

Перспективным направлением является совершенствование нормативной модели, позволяющей проводить сравнительные исследования. Работы российских и зарубежных ученых подтверждают актуальность и целесообразность дальнейшего развития экономического инструментария оценивания в области градостроительной деятельности и формирования правового обеспечения процесса. Направление на разработку системы мониторинга реализации градостроительных решений на основе внедрения цифровых платформ должно стать приоритетным для дальнейших научных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герцберг Л.Я. Взаимосвязь социально-экономического и территориального планирования // Градостроительство. 2011. № 6 (16). С. 11–24.
2. Лукманова И.Г., Яськова Н.Ю. О новых задачах инвестиционно-строительной деятельности в контексте трендов пространственного развития России // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 6. С. 774–784. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.6.774-784
3. Герцберг Л.Я. Разработка генеральных планов городов в условиях плановой и рыночной экономики в России (социально-экономические аспекты) // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году. 2018. С. 324–332. DOI: 10.22337/9785432302656-324-332

4. Герцберг Л.Я. Ретроспективный анализ и оценка факторов, влияющих на состав и содержание социально-экономических обоснований документов территориального планирования // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году. 2019. С. 243–251. DOI: 10.22337/9785432303080-243-251
5. Герцберг Л.Я. Качество городской среды: проблемы проектирования и реализации // Градостроительство. 2013. № 1 (23). С. 28–32.
6. Герцберг Л.Я. Качество городской среды: проблемы проектирования и реализации // Градостроительство. 2013. № 2 (24). С. 29–33.
7. Явон С.В. Исследовательские практики городского пространства // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2018. Т. 7. № 2 (23). С. 376–380.
8. Волосникова Е.А. Эволюция социологических взглядов на город в рамках классической метапарадигмы // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. 2012. № 1 (17). С. 107–113.
9. Фокина З.Т. Науки о природе и науки о культуре: тенденция к интеграции, практическое значение // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 3 (102). С. 293–303. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.3.293-303
10. Яськова Н.Ю. Вызовы нового десятилетия и переосмысление действующих подходов к развитию недвижимости (по материалам Гайдаровского форума — 2020) // Недвижимость: экономика, управление. 2020. № 1. С. 6–9.
11. Сарченко В.И. Методология и методика формирования эффективных инвестиционных программ развития городских территорий с учетом скрытого потенциала. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. 384 с.
12. Сарченко В.И. Развитие городских территорий требует научного обоснования // Экономика строительства. 2014. № 5 (29). С. 65–68.
13. Прибышин Т.К., Жихаревич Б.С. «Города-стратегии» на современной карте России // Региональная экономика. Юг России. 2020. Т. 8. № 1. С. 16–25. DOI: 10.15688/re.volsu.2020.1.2
14. Окрепилов В.В., Кузнецов С.В., Межевич Н.М., Свириденко М.В. Процессы урбанизации в контексте закономерностей пространственного развития муниципальных образований, находящихся в зоне влияния крупных мегаполисов // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2019. Т. 12. № 4. С. 42–52. DOI: 10.15838/esc.2019.4.64.3
15. Лукманова И.Г., Сарченко В.И. Сущность и оценка скрытого потенциала городских территорий // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 3 (369). С. 20–25.
16. Сарченко В.И. Новый подход к реализации генеральных планов городов // Экономика строительства. 2012. № 3 (15). С. 3–10.
17. Сарченко В.И. Основные положения методологии разработки инвестиционных программ развития городских территорий с учетом их скрытого потенциала // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 3. С. 60–65.
18. Ларионов А.Н., Ларионова Ю.В. Роль и место понятийно-категориального аппарата в реализации национального проекта «Доступное и комфортное жилье — гражданам России» // Вестник Института экономики Российской академии наук. 2014. № 1. С. 44–51.
19. Ларионова Ю.В., Ларионов А.Н., Павлова С.А., Горшков Н.Г. Рынок доступной жилой недвижимости: вопросы государственного регулирования / под ред. Ю.В. Ларионовой. М. : Изд-во СГУ, 2013. 169 с.
20. Пузанов А.С., Косарева Н.Б., Полиди Т.Д. Основные тенденции жилищной экономики российских городов // Городские исследования и практики. 2015. С. 34–55. DOI: 10.17323/usp00201534-55
21. Мякишин В.Н. Методология сбалансированной оценки инвестиционной привлекательности региона // Вестник САФУ. Серия «Гуманитарные и социальные науки». 2013. № 6. С. 110–118.
22. Вильнер М.Я. О критериях качества схем территориального планирования регионов // Градостроительство. 2011. № 6 (16). С. 6–10.
23. Кузнецов С.В. Инвестиционный потенциал региона: оценка и механизмы реализации : монография. СПб., 2003. 186 с.
24. Taylor P. World city network: A global urban analysis. London : Routledge, 2004. 256 p.
25. Hall P. The World Cities. New-York; Toronto, 1966. 241 p.
26. Ershova S., Orlovskaya T., Panfilova E. Study of life quality and urban environment quality in Russian megapolises // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 463. P. 042040. DOI: 10.1088/1757-899X/463/4/042040
27. Ершова С.А. Методологический подход к формированию перечня социально значимых объектов регионального значения, планируемых к строительству в Санкт-Петербурге // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 6 (59). С. 283–290.
28. Куприяновский В.П., Буланча С.А., Кононов В.В., Черных К.Ю., Намиот Д.Е., Добрынин А.П. Умные города как «столицы» цифровой экономики // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Т. 4. № 2. С. 41–52.
29. Дрожжинов В.И., Куприяновский В.П., Намиот Д.Е., Синягов С.А., Харитонов А.А. Умные города: модели, инструменты, ранкинги и стандар-

ты // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Т. 5. № 3. С. 19–48.

30. Герцберг Л.Я. Быть или не быть генеральным планам крупных городов // Архитектура. 2019. № 2. С. 10–18. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-2-10-18

31. Герцберг Л.Я. Актуализация методических основ разработки генеральных планов в контексте современных угроз и вызовов развитию городов // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 2. С. 91–97. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-2-91-97

32. Ershova S.A., Orlovskaya T.N. The concept of socio-spatial development as the basis of economic security of megalopolises // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. P. 022087. DOI: 10.1088/1757-899X/753/2/022087

33. Ершова С.А., Орловская Т.Н., Звонцов А.В., Никитина М.Г. Функционально-атрибутивный подход к комплексности и устойчивости территории для моделирования пространственного развития России // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2018. Т. 2. С. 394–396. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36322571>

34. Bouba-Olga O., Grossetti M. Socio-économie de proximité // Revue d'Économie Régionale & Urbaine. 2008. Issue 3. P. 311. DOI: 10.3917/teru.083.0311

35. Анимца Е.Г., Балина Т.А., Шарыгин М.Д. Трансформация научных подходов и методов изучения региональной социэкономии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. 2016. № 4. С. 209–218.

36. Ершова С.А., Орловская Т.Н. Экономическая безопасность развития города: методология оценки риска в условиях цифровизации // Управление рисками в экономике: проблемы и решения (РИСК'Э–2019) : тр. науч.-практ. конф. с зарубежным участием. 7–8 ноября 2019 г. СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. С. 182–190. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43788592>

37. Orlovskaya T., Ershova S. The study of the sociospatial aspect of green building in St. Petersburg: theoretical and practical aspects // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 135. P. 03054. DOI: 10.1051/e3sconf/201913503054

Поступила в редакцию 15 июля 2020 г.

Принята в доработанном виде 7 августа 2020 г.

Одобрена для публикации 31 августа 2020 г.

ОБ АВТОРАХ: Светлана Анатольевна Ершова — доктор экономических наук, профессор, начальник Управления научно-методического обоснования градостроительного развития Санкт-Петербурга; Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга» (СПб ГКУ «НИИЦ Генплана Санкт-Петербурга»); 191023, г. Санкт-Петербург, ул. Зодчего Росси, д. 1-3; РИНЦ ID: 319827, Scopus: 56478980400, ORCID: 0000-0001-6100-6404; S.Ershova@kga.gov.spb.ru;

Светлана Александровна Шишелова — главный специалист Управления научно-методического обоснования градостроительного развития Санкт-Петербурга; Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга» (СПб ГКУ «НИИЦ Генплана Санкт-Петербурга»); 191023, г. Санкт-Петербург, ул. Зодчего Росси, д. 1-3; РИНЦ ID: 1079007; s.shishelova@yandex.ru;

Тамара Николаевна Орловская — кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономической безопасности; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ); 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4; РИНЦ ID: 1009372; e-tamara@mail.ru.

REFERENCES

1. Gertsberg L.Ya. Interrelation of the socio-economic and land-use planning. *City and Town Planning*. 2011; 6(16):11-24. (rus.).
2. Lukmanova I.G., Yaskova N.Yu. On investment and construction activity tasks in the context of Russian spatial development trends. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2019; 14(6):774-784. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.6.774-784 (rus.).
3. Gertsberg L.Ya. Development of general plans for cities in a planned and market economy in Russia (socio-economic aspects). *Fundamental, Exploratory*

and Applied Research of the RAASN members on Scientific Issues to Support the Development of Architecture, Urban planning and the Construction Industry of the Russian Federation in 2017. 2018; 324-332. DOI: 10.22337/9785432302656-324-332 (rus.).

4. Gertsberg L.Ya. Retrospective analysis and assessment of the factors influencing the composition and the content of the social and economic justifications of the territorial planning documents. *Fundamental, Exploratory and Applied Research of the RAASN members on Scientific Issues to Support the Development of Architecture, Urban planning and the Construc-*

- tion Industry of the Russian Federation in 2018. 2019; 243-251. DOI: 10.22337/9785432303080-243-251 (rus.).
5. Gertsberg L.Ya. Quality of urban environment: problems of design and implementation. *City and Town Planning*. 2013; 1(23):28-32. (rus.).
 6. Gertsberg L.Ya. Urban environment quality: problems of design and implementation. *City and Town Planning*. 2013; 2(24):29-33. (rus.).
 7. Yavon S.V. Research study of urban space. *Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration*. 2018; 7:2(23):376-380. (rus.).
 8. Volosnikova E.A. The evolution of sociological theories of the city in the context of the classical metaparadigm. *The Newsletter of Tomsk State University. Philosophy. Sociology. Political science*. 2012; 1(17):107-113. (rus.).
 9. Fokina Z.T. Scientific study of nature and scientific study of culture: Integration trend, practical value. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2017; 12:3(102):293-303. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.3.293-303 (rus.).
 10. Yas'kova N.Yu. Challenges of the new decade and reinterpretation of current approaches to real estate development (based on the materials of the Gaidar Forum — 2020). *Real Estate: Economics, Management*. 2020; 1:6-9. (rus.).
 11. Sarchenko V.I. *Methodology and technique of formation of effective investment programs for the development of urban areas taking into account the hidden potential*. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2017; 384. (rus.).
 12. Sarchenko V.I. The development of urban territories requires scientific justification. *The Economy of Construction*. 2014; 5(29):65-68. (rus.).
 13. Pribyshin T.K., Zhikharevich B.S. Strategic cities in the modern map of Russia. *Regional Economy. The South of Russia*. 2020; 8(1):16-25. DOI: 10.15688/re.volsu.2020.1.2 (rus.).
 14. Okrepilov V.V., Kuznetsov S.V., Mezhevich N.M., Sviridenko M.V. Urbanization processes in the context of spatial development patterns of municipalities in the zone of influence of megacities. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. 2019; 12(4):42-52. DOI: 10.15838/esc.2019.4.64.3 (rus.).
 15. Lukmanova I.G., Sarchenko V.I. The essence of the hidden potential of urban territories. *Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology*. 2017; 3(369):20-25. (rus.).
 16. Sarchenko V.I. New approach to implementation of general plans for cities. *The Economy of Construction*. 2012; 3(15):3-10. (rus.).
 17. Sarchenko V.I. Main provisions of development methodology of investment programs for development of urban areas with due regard for their hidden potential. *The Journal of Industrial and Civil Construction*. 2016; 3:60-65. (rus.).
 18. Larionov A.N., Larionova Yu.V. The role and the place of the conceptual and categorical device in implementation of the national project “The available and comfortable housing — to citizens of Russia”. *Bulletin of The Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*. 2014; 1:44-51. (rus.).
 19. Larionova Yu.V., Larionov A.N., Pavlova S.A., Gorshkov N.G. *Affordable residential real estate market: issues of state regulation*. Moscow, SSU publishing house, 2013; 169. (rus.).
 20. Puzanov A.S., Kosareva N.B., Polidi T.D. Basic tendencies in housing economics of Russian cities. *Urban Studies and Practices Pilot Issue*. 2015; 34-55. DOI: 10.17323/usp00201534-55 (rus.).
 21. Myakshin V.N. Methodology of balanced assessment of investment attractiveness of a region. *Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series: Humanitarian and Social Sciences*. 2013; 6:110-118. (rus.).
 22. Vil'ner M.Ya. On quality criteria for regional land-use planning schemes. *City and Town Planning*. 2011; 6(16):6-10. (rus.).
 23. Kuznetsov S.V. *Investment Potential of the Region: Assessment and Implementation Strategies*. Saint-Petersburg, 2003; 186. (rus.).
 24. Taylor P. *World city network: A global urban analysis*. London, Routledge, 2004; 256.
 25. Hall P. *The World Cities*. New-York; Toronto, 1966; 241.
 26. Ershova S., Orlovskaya T., Panfilova E. Study of life quality and urban environment quality in Russian megapolises. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 463:042040. DOI: 10.1088/1757-899X/463/4/042040
 27. Ershova S.A. Methodological approach to formation of the list of socially significant construction facilities of regional importance planned for construction in Saint-Petersburg. *Bulletin of Civil Engineers*. 2016; 6(59):283-290. (rus.).
 28. Kupriyanovskiy V.P., Bulancha S.A., Kononov V.V., Chernykh K.Yu., Namiot D.E., Dobrynin A.P. Smart Cities as the “capitals” of the Digital Economy. *International Journal of Open Information Technologies*. 2016; 4(2):41-52. (rus.).
 29. Drozhzhinov V.I., Kupriyanovskiy V.P., Namiot D.E., Sinyagov S.A., Kharitonov A.A. Smart Cities: models, tools, rankings, and standards. *International Journal of Open Information Technologies*. 2017; 5(3):19-48. (rus.).
 30. Gertsberg L.Ya. General plans of major urban centers: to Be or not to Be? *Architecture*. 2019; 2:10-18. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-2-10-18 (rus.).
 31. Gertsberg L.Ya. Rediscovering the methodological framework for general plan development. *Academia. Architecture and Construction*. 2018; 2:91-97. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-2-91-97 (rus.).
 32. Ershova S.A., Orlovskaya T.N. The concept of socio-spatial development as the basis of economic

security of megalopolises. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 753:022087. DOI: 10.1088/1757-899X/753/2/022087

33. Ershova S.A., Orlovskaya T.N., Zvontsov A.V., Nikitina M.G. Functional-attribute approach to complexity and sustainability of the territory for modeling spatial development of Russia. *International Conference on Soft Computing and Measurements*. 2018; 394-396. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36322571> (rus.).

34. Boubia-Olga O., Grossetti M. Socio-économique de proximité. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*. 2008; 3:311. DOI: 10.3917/reru.083.0311

35. Animitsa E.G., Balina T.A., Sharygin M.D. Transformation of scientific approaches and methods for studying regional Socioeconomics. *Bulletin of the*

Perm National Research Polytechnic University. Social and Economic Sciences. 2016; 4:209-218. (rus.).

36. Ershova S.A., Orlovskaya T.N. Economic security of city development: methodology of risk assessment in conditions of digitalization. "Risk Management in Russia economy: problems and solutions" (RISK'E-2019) : proceedings of a scientific and practical conference with foreign participation. November 7–8, 2019. St. Petersburg, POLYTECH-PRESS, 2020; 182-190. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43788592>. 2019; 184-193. (rus.).

37. Orlovskaya T., Ershova S. The study of the sociospatial aspect of green building in St.Petersburg: theoretical and practical aspects. *E3S Web of Conferences*. 2019; 135:03054. DOI: 10.1051/e3sconf/201913503054

Received July 15, 2020.

Adopted in revised form on August 7, 2020.

Approved for publication on August 31, 2020.

B I O N O T E S: **Svetlana A. Ershova** — Doctor of Economical Sciences, Professor, Chief of Department of scientific substantiation of St. Petersburg urban development; **State Research and Design Center of Saint Petersburg Master Plan**; 1-3 Architect Rossi st., Saint Petersburg, 191023, Russian Federation; ID RISC: 319827, Scopus: 56478980400, ORCID: 0000-0001-6100-6404; S.Ershova@kga.gov.spb.ru;

Svetlana A. Shishelova — Chief Specialist of Department of scientific substantiation of St. Petersburg urban development; **State Research and Design Center of Saint Petersburg Master Plan**; 1-3 Architect Rossi st., Saint Petersburg, 191023, Russian Federation; ID RISC: 1079007; s.shishelova@yandex.ru;

Tamara N. Orlovskaya — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of economic safety; **Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)**; 4 2nd Krasnoarmeiskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; ID RISC: 1009372; e-tamara@mail.ru.

Исследование универсальной последовательности строительных работ

И.В. Каракозова^{1, 2}

¹ Государственное автономное учреждение города Москвы

«Научно-исследовательский аналитический центр» (ГАНУ НИИАЦ); г. Москва, Россия;

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Отличием информационного моделирования от систем автоматизированного проектирования является акцент не на самом проектировании, а на передаче проектных данных экспертам, строителям, эксплуатационному персоналу. Научных работ в области преобразования архитектурно-строительных компонентов проекта в последовательность строительно-монтажных работ — недостаточно. Для такого преобразования необходимы методы непосредственного сопоставления элементов и строительных работ, а также соотнесение работ по времени их выполнения на стройке. Статья посвящена разработке такой последовательности выполнения работ, которая будет способствовать автоматизированному составлению планов и графиков строительства на базе результатов работы систем информационного моделирования.

Материалы и методы. Классификация строительно-монтажных работ, ресурсов и элементов должна охватить основные понятия, используемые в строительстве. Однако применение зарубежных классификаторов, используемых в семействах BIM (Building Information Modeling), часто не соответствует распространенным в отечественном строительстве понятиям, технологиям и приемам. Например, разделы «Изделия» и «Результаты работ» классификации OmniClass содержат около 7 тыс. позиций каждый, тогда как отечественный классификатор строительных ресурсов включает в себя более 120 тыс. позиций, а количество различных нормативов по видам работ приближается к 180 тыс. В результате рассмотрения нормативной базы подобраны отечественные нормативно-технические документы, содержащие данные по проектно-изыскательским, строительно-монтажным, пусконаладочным работам, а также по ремонту, техническому обслуживанию и эксплуатации зданий, сооружений и технологического оборудования.

Результаты. Обобщены данные по указанным нормативно-техническим документам, выстроена генеральная последовательность различных организационно-технологических процессов жизненного цикла здания (сооружения). Показано также, что фактические затраты труда незначительно отличаются от элементных нормативов затрат труда. Это позволит использовать указанные нормативы в технологической последовательности для календарного планирования.

Выводы. Разработанный перечень приоритетов работ позволяет автоматизировать процессы создания календарных планов на основе перечня элементов и конструкций здания. В необходимых случаях проектировщик может внести изменения в последовательность, переставить или добавить отдельные группы работ. В дальнейшем необходимо сформировать словарь, позволяющий по набору параметров конструктивного элемента подобрать подходящий строительный процесс.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: информационное моделирование зданий, строительно-монтажные работы, классификаторы, структура работ проекта, затраты труда, нормативы, календарное планирование

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Каракозова И.В. Исследование универсальной последовательности строительных работ // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 9. С. 1321–1333. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1321-1333

A study of the universal sequence in construction works

Irina V. Karakozova^{1, 2}

¹ Moscow State Autonomous Institution Research Analytical Center (NIAZ); Moscow, Russian Federation;

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

ABSTRACT

Introduction. The focus on transferring design information to experts, builders, building maintenance personnel, rather than on design in itself differs information modeling from computer-aided design (CAD) systems. The number of research papers focused on transformation of architectural and civil engineering constituents of projects into a sequence of construction and installation works is insufficient. This transformation requires methods of immediate correlation between elements and items of construction works, as well as the matching of on-site work performance schedules. The article addresses development of such a work performance sequence that will facilitate automated planning and scheduling of construction works using information modeling.

Materials and methods. A classification of construction and installation works, resources and elements must encompass principal construction-related notions. However foreign classifiers, used in building information modelling (BIM), frequently fail to comprise notions, technologies and techniques widely spread in the Russian construction industry. For example, such

OmniClass sections as “Products” and “Work Results” have about 7 thousand entries each, while the Russian classifier of construction resources has in excess of 120 entries, and the number of versatile regulatory standards that apply to types of works is close to 180 thousand. Having analyzed the legal framework, the author identifies domestic technical rules and regulations that contain information on design and survey, construction and assembly, commissioning, renovation, maintenance and operation of buildings, structures and process equipment.

Results. The author synthesized information on technical rules and regulations and developed an overall sequence of versatile processes that comprise the life cycle of a building (a structure). The author proved that actual labour costs slightly differ from itemized standard labour inputs.

Conclusions. The list of work items, broken down by priorities by the author, enables automated work scheduling based on the list of elements and building constructions. In some cases, a designer can modify the sequence by rescheduling particular work items or adding a work cluster. Further, a dictionary must be compiled to enable identification of particular construction processes on the basis of a set of parameters of a structural element.

KEYWORDS: building information modelling, construction and assembly works, classifiers, project work structure, labour costs, standards and regulations, scheduling

FOR CITATION: Karakozova I.V. A study of the universal sequence in construction works. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(9):1321-1333. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1321-1333 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы все более широкое распространение получает информационное моделирование зданий (Building Information Modeling), которое основано на цифровом представлении строительных конструкций и объектов [1]. Отмечено, что моделирование уменьшает вероятность ошибок в проектной документации, повышает качество проектирования [2]. Главным отличием информационного моделирования от систем автоматизированного проектирования является акцент не на самом проектировании, а на передаче проектных данных по технологической цепочке экспертам, строителям, эксплуатационникам [3, 4]. Поэтому методы BIM, отличные от методов САПР (систем автоматизированного проектирования), сконцентрированы не столько на моделировании, сколько на адекватном восприятии и обработке данных компьютерными программами [5, 6].

Однако, как и в САПР, многие методы создаются и осваиваются раньше на практике, чем в науке. Научное обобщение возникает на фоне уже развивающегося применения BIM, хотя некоторые научные работы проводились у нас уже тогда, когда еще понятия «BIM» не существовало [7, 8]. В течение всего периода развития этого направления много усилий было потрачено на обеспечение интероперабельности программного обеспечения и информационных технологий в целом [9–11].

Одной из особенностей информационного моделирования является необходимость разработки и применения большого понятийного механизма, облегчающего восприятие отраслевых (в данном случае строительных) терминов компьютерами. К такому механизму относятся языки передачи данных, словари и классификаторы в предметной области. Пока основное внимание уделялось языку передачи данных, в качестве которого утвердилось семейство форматов IFC (Industry Foundation Classes), созданное на основе универсального формата STEP

(Standard for Exchange of Product Data)¹, но до сих пор не достигшее совершенства [12]. В самом формате IFC подробно описывается топология и геометрия элементов, но содержится очень мало смысловых понятий в предметной области строительства: стена, перекрытие, крыша, окно, дверь и т.п. Собственно, в языке это и не нужно, для подробного описания следует использовать распределенные базы данных, построенные на основе классификаторов понятий предметной области строительства.

При дальнейшей работе с информационными технологиями в проектировании выяснилось, что одного геометрического представления мало. Для хранения и передачи данных об оборудовании, сложных конструкциях, самом объекте строительства необходимы дополнительные средства. В таком качестве был предложен формат COBie (Construction Operation Building Information Exchange), выполненный в виде таблиц Excel [13]. Впрочем, анализ показывает, что и этот формат мало приспособлен для разработки плановой и производственной документации в строительстве более или менее сложных объектов [14].

Относительно мало научных работ в области прямого преобразования архитектурно-строительных компонентов проекта в последовательность строительно-монтажных работ. Опубликованы работы по автоматизации и оптимизации составления сетевых графиков [15, 16], по использованию генетических алгоритмов и информационных моделей для оптимизации календарных планов [17, 18]. Однако для использования таких методов все равно каждый раз необходимо изначальное участие специалистов в составлении моделей и взаимосвязей технологических процессов, последовательности работ. Между тем без автоматизированной разработки такой последовательности во многом теряется смысл BIM-технологий, которые изначальное

¹ ГОСТ Р ИСО 10303-1–99. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными.

были ориентированы на передачу данных строителям и другим смежникам по проекту.

Таким образом, несмотря на активную работу по развитию информационных технологий, теоретические обоснования и практические шаги по переносу полноценной документированной информации вдоль технологической цепочки пока недостаточны. Во многом это объясняется отсутствием последовательной методики преобразования и передачи данных. Предполагается, что для такого преобразования необходимы методы и базы данных по непосредственному сопоставлению элементов и строительных работ (словарь), а также сопоставление работ по времени их выполнения на стройке (генеральная последовательность). Данная статья посвящена разработке такой последовательности выполнения работ, которая будет способствовать автоматизированному составлению планов и графиков строительства на базе результатов работы систем информационного моделирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В России нашли широкое распространение зарубежные системы автоматизированного проектирования, поддерживающие методы информационного моделирования: Revit, ARCHICAD, Nemetschek и др. Это повлекло за собой использование зарубежных классификаторов, которые иногда изначально встроены в программные комплексы. Например, в качестве описания библиотеки модулей часто используется американский стандарт OmniClass [19]. Он состоит из 15 пронумерованных разделов (таблиц):

- 11 — объекты строительства по функциям;
- 12 — объекты строительства по формам;
- 13 — помещения и пространства по функциям;
- 14 — помещения и пространства по формам;
- 21 — элементы зданий (системы и конструкции);
- 22 — результаты работ;
- 23 — изделия;
- 31 — этапы строительства;
- 32 — услуги;
- 33 — области деятельности;
- 34 — субъекты деятельности;
- 35 — строительные машины и инструменты;
- 36 — виды информации;
- 41 — материалы;
- 49 — свойства.

Кроме того, используются более ранние классификаторы UniFormat и MasterFormat [20, 21].

В настоящее время идет работа по дополнению IFC разделами, посвященными генеральному плану, дорогам, мостам и т.д. Поэтому в перспективе можно будет описывать не только архитектурные детали, но и другие строительные и технологические понятия. Особенностью строительства является то, что не все процессы находят отражение в архитектурных и геометрических формах. Например,

процессы отрывки и засыпки котлована, установки лесов и опалубки, устройства отделочных покрытий не отображаются в законченном строении. Однако перечень таких процессов не менее важен для строителей, чем перечень архитектурных деталей. Таким образом, в классификаторы должны быть включены все элементы и процессы, которые могут встречаться в строительстве.

Как указывалось ранее, необходимо, чтобы автоматизированная обработка информации позволяла воспринимать данные, вырабатываемые BIM-системами, обрабатывать и передавать их строителям. При этом одна из основных задач BIM-технологии заключается в обеспечении возможности автоматизированного составления графика работ, оценки их объема и сроков. Семантическая часть информации должна опираться на подробные классификаторы, понятные как проектировщику, так и заказчику, подрядчику, субподрядчику. Для автоматизированной поддержки этих процессов требуется создать словари, в которых сопоставлены конструктивные элементы и процессы их возведения, что позволит составлять графики работ, рассчитывать сроки строительства и контролировать их выполнение. Такие словари должны быть построены на основе классификаторов с учетом основных параметров конструктивных элементов и технологических процессов.

Приведенный выше перечень классификационных разделов может охватить основные понятия, применяемые в строительстве. Однако использование зарубежных классификаторов затруднено тем, что дословный перевод терминов (в основном английских) иногда малопонятен российским инженерам и часто не соответствует распространенным в отечественном строительстве технологиям и приемам. К тому же перечень таких терминов довольно ограничен. Например, в классификаторе OmniClass самый крупный раздел «Изделия» содержит менее 7 тыс. понятий по всем семи уровням иерархии, тогда как отечественный классификатор² строительных ресурсов включает в себя более 120 тыс. позиций только на основном уровне. Менее 7 тыс. понятий содержит также раздел «Результаты работ», тогда как количество упоминаемых в отечественных нормативах процессов приближается к 180 тыс. Причем «Результаты работ» — это все же не перечень работ; в OmniClass перечень процессов и строительных работ, как таковой, просто отсутствует.

В теории управления проектами [22] предусматривается разработка иерархического перечня работ (Work Break down Structure — WBS). Согласно теории, перечень содержит не работы, а результаты работ, т.е. не полностью ориентирован на составление графика работ. Кроме того, WBS обычно не со-

² Классификатор строительных ресурсов : (КСР-2017) : утвержден Приказом Минстроя России от 02.03.2017 № 597 пр.

держит сроков и ресурсов для выполнения работ. Единых рекомендаций ни по глубине структуры, ни по составу перечня нет, для каждой стройки он разрабатывается заново; лишь иногда используются ранее выполненные аналоги. Разумеется, использование каждый раз нового классификатора не способствует автоматизированной обработке информации, составлять перечень работ по данным BIM-систем придется практически вручную. Кроме того, формирование и ведение информационной базы данных по построенным объектам для последующего использования в процессе планирования затрат при таком подходе также затруднительно.

Следовательно, представляется необходимой научно обоснованная разработка универсального перечня работ, который мог бы быть использован при передаче информации в BIM-технологиях. В отечественной практике такой перечень также отсутствует. В результате рассмотрения нормативно-технических документов, содержащих данные по работам, были выявлены следующие возможные основы для составления перечня работ.

1. Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности³, известный также как КПЕС 2008 и ОКПД-2, гармонизированный со Статистической классификацией продукции по видам деятельности Европейского экономического сообщества, объединяет продукцию, работы и услуги, а также объекты строительства, содержит укрупненные наименования около трехсот видов строительно-монтажных работ.

2. Московская строительная система классификаторов⁴ составлена на основе OmniClass с добавлением разделов по планировочной организации земельного участка и топографической ситуации. Раздел «Виды работ» только планируется к составлению.

3. Состав видов деятельности по проектированию, строительству и инженерным изысканиям, лицензирование которых относилось к компетенции Госстроя России⁵, — укрупненный перечень более чем 400 наименований деятельности, содержит также функции заказчика-застройщика, разделение на общестроительные и специальные строительные работы и др.

³ Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности : (ОК 34-2014 (КПЕС 2008)) : утвержден Приказом Росстандарта от 31.01.2014 № 14-ст (ред. от 12.02.2020).

⁴ Классификаторы для информационного моделирования. Московская строительная система классификаторов МССК. Мосгосэкспертиза, 2019.

⁵ Состав видов деятельности по проектированию и инженерным изысканиям, лицензирование которых отнесено к компетенции Госстроя России : утвержден Председателем Госстроя России А.Ш. Шамузафаровым 07.10.2002.

4. Структурированный перечень работ по содержанию автодорог общего пользования⁶ содержит около 900 видов работ, относящихся к эксплуатации и ремонту по узкому кругу объектов. Код работы включает в себя вид объекта, вид и подвид конструктивного элемента, наименование работы и вид исполнения. Является первым отечественным нормативно-техническим документом такого рода.

5. Единые, ведомственные и типовые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы (ЕНиР, ВНиР и ТНиР) были выпущены в 1987–1989 гг. в составе более чем 160 сборников, содержащих порядка 100 тыс. подробных норм трудовых затрат по рабочим процессам на строительстве. Кроме того, выпускались подробные нормы по проектным работам (ЕНВиР).

6. Государственные элементные сметные нормы (ГЭСН-2020) на строительные, монтажные, ремонтно-строительные и пусконаладочные работы выпускались в 2001–2003, 2008–2009, 2014, 2017 и 2020 гг. в составе 120 сборников, содержащих свыше 50 тыс. работ с указанием затрат труда и среднего разряда рабочих. Кроме того, выпущено около 90 справочников базовых цен (СБЦ) на проектные и изыскательские работы в строительстве.

7. Сборники показателей стоимости на виды работ (ПВР) выпущены в 1993 г. в составе 27 сборников на фоне отсутствия полноценных сметных нормативов. Содержат данные о затратах труда и затратах машинного времени основных машин и механизмов.

8. Территориальные сметные нормативы (ТСН) для Москвы⁷ введены в действие в 2006 г. и включают в себя 18 глав. В их состав входят 143 сборника сметных норм и единичных расценок на строительные, ремонтно-строительные, монтажные, пусконаладочные работы, реставрационно-восстановительные работы по памятникам истории и культуры, на техническое обслуживание и ремонт оборудования городского хозяйства, а также праздничное, тематическое оформление города, содержание объектов городской среды. Включают в себя свыше 41 тыс. видов работ с указанием затрат труда рабочих. Следует отметить, что сметные нормы в соста-

⁶ Применение структурированных перечней работ по содержанию автомобильных дорог общего пользования федерального значения и дорожных сооружений в автоматизированных навигационных системах диспетчерского контроля : (ОДМ 218.9.001-2013) : принят Росавтодором 28.06.2013.

⁷ Территориальные сметные нормативы для Москвы в 18 главах с дополнениями и изменениями : (ТСН-2001) : введены в действие с 01.12.2006 Постановлением Правительства Москвы от 14.11.2006 № 900-ПП «О порядке перехода на определение сметной стоимости строительства объектов в городе Москве с применением территориальных сметных нормативов в уровне цен по состоянию на 1 января 2000 года».

ве ТСН-2001 не содержат информацию о среднем разряде рабочих. Кроме того, ТСН-2001 выпущены в виде пяти сборников (более 2 тыс. позиций) укрупненных показателей стоимости строительства линейных объектов, объектов озеленения, а также показателей стоимости отдельных конструктивных элементов и комплексов работ. Для определения стоимости проектных, изыскательских и других дополнительных работ, связанных непосредственно с возведением объекта капитального строительства при финансировании из городского бюджета города Москвы, применяется единая нормативная база Московских региональных рекомендаций (МРР), включенная в состав ТСН-2001 как самостоятельная глава ТСН-2001.18. База МРР содержит 11 глав, в состав которых входят 63 сборника.

9. Отраслевые нормативы затрат труда на капитальный и текущий ремонт, техническое обслуживание оборудования. Наиболее подробные нормы выпущены ЦКБ «Энергоремонт» и Росатомом (ОЕР-2001, включают в себя также отраслевую редакцию государственных сметных норм). Отраслевые нормы выпущены также АО «РЖД» для железных дорог (ОСНБЖ-2001) и Минтранс России для автомобильных дорог (ЭСНиЕРс).

10. В 2012–2014 гг. в Москве разработан и введен в действие сборник стоимостных нормативов по содержанию и эксплуатации зданий и сооружений городского хозяйства, содержанию памятников культурного наследия, праздничному и тематическому оформлению города Москвы (СН-2012). В СН-2012 входят восемь глав, из которых пять глав (58 сборников) содержат как стоимостные показатели, так и показатели затрат труда рабочих и времени работы машин.

11. Отраслевые элементные нормы на ремонтно-реставрационные работы по памятникам истории и культуры выпущены в г. Москве, г. Санкт-Петербурге и на федеральном уровне, причем эти группы норм несколько отличаются, в том числе по полноте и номенклатуре работ в составе сборников.

В результате анализа рассмотренных групп документов, являющихся по сути базами данных, можно заключить, что для укрупненного перечня работ может быть использован Общероссийский классификатор ОК 034-2014 с дополнениями и поправками из других источников. Всего может быть 300–400 укрупненных видов работ, что достаточно для составления сетевого графика второго-третьего уровней. В то же время по таким видам работ сложно использовать какие-либо нормативы затрат труда, так как они могут объединять достаточно разнородные технологические процессы, имеющие к тому же разные единицы измерения.

Для автоматизированного составления более подробного перечня работ могут быть использованы ГЭСН-2020 с добавлением в необходимых случаях норм из ТСН-2001. Тот факт, что эти нормы по сей день используются для определения стоимости стро-

ящихся объектов и для экспертизы проектных решений, гарантирует полноту учета видов работ и соответствие реальным процессам. Кроме того, эти базы постоянно обновляются и исправляются в централизованном порядке, что обеспечивает их актуальность. Некоторое количество норм до сих пор отсутствует, например, нормы на взрывное разрушение зданий и сооружений, на монтаж строительных кранов и механизмов, на горнопроходческие работы методом искусственного замораживания (существуют только в ТСН-2001) и др. Но постоянно ведется дополнение норм, например, в 2020 г. опубликован раздел 1 сборника 34 ГЭСН «Сооружения связи, радиовещания и телевидения», отсутствовавший с 2001 г. и взятый из московских норм.

Преимуществом такого решения является также наличие нормативных затрат труда и машинного времени по каждой работе, содержащейся в этих базах. Собственно, других полноценных баз данных по затратам труда в настоящее время нет. Поэтому такие данные могут быть использованы для разработки календарных планов и сетевых графиков любого уровня. В данном случае сметные нормативы теряют свое экономическое значение, используются только данные о потреблении нерасходуемых ресурсов: трудовых и технических, т.е. строительных рабочих и строительных машин.

Общее количество значимых норм, содержащих оценки трудоемкости отдельных работ и в ряде случаев затраты машинного времени, выглядит следующим образом:

- государственные элементные сметные нормы на строительные работы — 26 тыс.;
- государственные элементные сметные нормы на ремонтные работы — 2,6 тыс.;
- государственные элементные сметные нормы на монтаж оборудования — 18,3 тыс.;
- государственные элементные сметные нормы на пусконаладочные работы — 2,5 тыс.;
- отраслевые нормы трудоемкости ремонта и технического обслуживания энергетического оборудования — 50,5 тыс.;
- отраслевые нормы трудоемкости ремонта и содержания железных и автомобильных дорог — 1,7 тыс.;
- региональные нормы на ремонт и обслуживание городского хозяйства — 7,3 тыс.;
- региональные нормы на ремонтно-реставрационные работы — 6–7 тыс.;
- региональные нормы на содержание и эксплуатацию зданий и сооружений городского хозяйства, содержание памятников культурного наследия, праздничное и тематическое оформление города — 33 тыс.

Кроме того, существуют чисто стоимостные нормативы, из которых можно получить данные по затратам труда и продолжительности работ, исходя из выработки:

- укрупненные показатели на здания, сооружения и коммуникации (НЦС) — 6,1 тыс.;
- сборники базовых цен на изыскательские работы (СБЦИ) — 7,7 тыс.;
- сборники базовых цен на проектные работы (СБЦ) — 17 тыс.;
- региональные сборники базовых цен на изыскательские, проектные и дополнительные к ним работы (МРР) — 2,1 тыс., из которых значительная часть по назначению совпадает с СБЦ.

Таким образом, всего имеющиеся базы данных по затратам труда содержат свыше 180 тыс. наименований работ. При этом не учитывались чрезмерно подробные единые, ведомственные и типовые нормы выработки (ЕНиР, ВНиР, ТНиР), а также единые, межотраслевые и отраслевые нормы затрат времени, выпущенные в разные годы.

Принимая во внимание повторы и необходимость иметь значительное количество избыточных

позиций для развития классификации, примем, что расчетная емкость классификатора должна в несколько раз превышать имеющийся состав данных. Таким образом, если приоритет будет выражаться шестизначным числом от 100 тыс. до 999 999, то максимальное количество позиций будет составлять 900 тыс., что в пять раз больше наблюдаемого количества нормативов.

Что касается соответствия нормативных затрат труда и машинного времени фактическим данным, то этот вопрос мало исследован. Отрывочные сообщения практикующих инженерно-технических работников стройки показывают, что в целом нормативные затраты при хорошей организации труда примерно соответствуют реальному уровню затрат рабочего времени. В табл. 1 приведена информация о нормативном и фактическом времени выполнения отдельных видов работ рабочими-строителями, полученная на основании результатов нормативных

Табл. 1. Нормативное и фактическое время выполнения отдельных видов работ рабочими-строителями

Table 1. Standard and actual time for performance of particular works by builders

№ п/п No.	Наименование вида работ в соответствии с сметно-нормативной базой Work items pursuant to the costing standards base	Затраты труда рабочих, чел.-ч Labour costs, man-hours		Процент отклонения Discrepancy percentage
		по сметно-нормативной базе Pursuant to the costing standards base	по фактическим данным исполнителя работ Pursuant to actual data provided by the contractor	
1	2	3	4	5
1	Устройство вертикальной разметки из пластика на опорах контактной сети диаметром 270 мм Making vertical plastic marks on contact line supports, 270 mm diameter	1,94	1,93	-0,52
2	То же, диаметром 325 мм / Ditto, 325 mm diameter	2,23	2,03	-8,97
3	Удаление демаркировщиком линий регулирования дорожного движения толщиной 3 мм Removal of 3 mm-thick road paint by a remover machine	0,41	0,412	0,49
4	Объемное виброштампование бетонной смеси при устройстве буровых буронабивных свай диаметром 750 мм 3D vibrostamping of concrete mix in the course of installation of bored and auger-injected piles, 750 mm diameter	0,69	0,66	-4,35
5	То же, диаметром 1000 мм / Ditto, 1,000 mm diameter	0,85	0,82	-3,53
6	То же, диаметром 1500 мм / Ditto, 1,500 mm diameter	1,10	1,05	-4,55
7	Упрочнение грунта ниже забоя скважины втрамбовыванием щебня при устройстве буровых свай диаметром 750 мм Soil stabilization below the borehole bottom using driven crushed rock in the course of installation of bored piles, 750 mm diameter	0,41	0,37	-9,76

Окончание табл. 1 / End of Table 1

№ п/п No.	Наименование вида работ в соответствии с сметно-нормативной базой Work items pursuant to the costing standards base	Затраты труда рабочих, чел.-ч Labour costs, man-hours		Процент отклонения Discrepancy percentage
		по сметно-нормативной базе Pursuant to the costing standards base	по фактическим данным исполнителя работ Pursuant to actual data provided by the contractor	
8	То же, диаметром 1000 мм / Ditto, 1,000 mm diameter	0,49	0,45	-8,16
9	То же, диаметром 1500 мм / Ditto, 1,500 mm diameter	0,72	0,62	-13,89
10	Устройство щебеночных буровых свай диаметром 1000 мм Installation of crushed rock bored piles, 1,000 mm diameter	1,73	1,6	-7,51
11	Укладка утеплителя в виде жгутов круглого сечения на битумно-полимерной мастике вручную Manual thermal insulation (asphalt polymeric mastic) lay- ing in the circular rope form	10,00	10,06	0,60

наблюдений и расчетных обоснований, подготовленных с участием автора. Исходя из полученных данных, диапазон отклонений составил от 0,49 до 13,89 %, что в соответствии с требованиями методических документов в области ценообразования и сметного нормирования в строительстве подтверждает необходимость пересмотра технологических карт со сроком действия более пяти лет с целью проведения работ по их актуализации или продления срока использования. Подтверждается также возможность применения элементных норм для планирования трудозатрат и сроков работ.

Для автоматизированного составления календарных планов необходимо также знание последовательности выполнения работ. В этих целях целесообразно составить генеральную последовательность выполнения, величина которой указывала бы компьютерной программе последовательность работ. При этом количество однородных работ и их продолжительность определяются данными, полученными из BIM-систем с помощью указанных выше словарей. Например, можно программно установить повторение определенной последовательности работ на каждом этаже или в каждом помещении.

Во избежание путаницы целесообразно совместить кодификацию перечня работ и приоритет выполнения в единой числовой последовательности. Однако при этом становится невозможным фасетная кодификация перечня работ, необходимая для создания иерархической системы классификации. В самом деле, иерархическая кодификация без разделения на фасеты возможна лишь при десятичном делении. Между тем количество однородных позиций низшего уровня, принадлежащих одной позиции вышележащего уровня, в ГЭСН доходит до 100 и более. Впрочем, фасетная кодификация не-

обходима лишь для чтения кодов человеком, автоматизированная система может обходиться без этого.

Перечни работ в ГЭСН и аналогичных региональных сборниках сметных норм разделены по технологическому и объектному признакам, причем не всегда последовательно. Накладывает отпечаток традиционное разделение норм на сборники. Так, в общестроительных сборниках по возведению несущих железобетонных, стальных, деревянных конструкций технологическое деление прослеживается довольно четко. В то же время для специальных объектов (линий электропередачи, сооружений связи, тоннелей и др.) приводятся нормы для фундаментов, несущих конструкций, антикоррозионных и отделочных покрытий, иногда даже для земляных работ. Хронологическая последовательность также выдерживается далеко не всегда, например, демонтажные работы обычно следуют за монтажными, хотя в процессе строительства все происходит наоборот. Кроме того, близкие виды работ могут иметь место в разных сборниках. Например, затраты на выполнение работ по валке деревьев можно определить с использованием трех сборников: сборника 1 «Земляные работы», сборника 47 «Озеленение» и сборника 68 «Благоустройство». При этом выбор осуществляется в соответствии с принятой технологией производства работ и условиями, влияющими на их выполнение. Вспомогательные и сопутствующие работы могут быть учтены в одном сборнике, но при этом иметь широкую область применения. При прокладке наружных сетей газо-, водо- и теплоснабжения, а также водоотведения затраты на их монтаж формируются с использованием соответствующих сборников. Одновременно могут учитываться работы по подвешиванию подземных кабельных коммуникаций, однако норма на данный

вид работ приведена в сборнике на прокладку наружных сетей водопровода.

В связи с этим для расстановки приоритетов использовать существующую нумерацию норм невозможно. Нормы следует расположить в последовательности, которая наиболее часто встречается в календарном планировании строек. При этом технологически сходные работы на разных по характеру объектах могут быть объединены в одну приоритетную группу, например, земляные работы по устройству котлованов должны следовать за работами по сносу и демонтажу, но опережать устройство фундаментов. В свою очередь, земляные работы по возведению насыпей, устройству обратных засыпок следует выполнять после гидроизоляции фундаментов, но они должны опережать устройство несущих конструкций надземной части.

С другой стороны, технологическая последовательность работ не задана раз и навсегда. Например, возможен монтаж наземной части здания до обратной засыпки фундаментов, что, однако, нежелательно по ряду причин. Чтобы учесть такие возможности, ряд работ может располагаться в нескольких местах последовательности приоритетов. При этом отдельные работы могут несколько раз ссылаться на одну и ту же норму, что никак не нарушает алгоритм последующей обработки данных. Например, планировка поверхности бульдозером

может производиться до отрывки котлована, а затем еще раз после проведения обратной засыпки. Аналогично отделочные работы могут быть произведены до устройства внутренних инженерных сетей, а потом повторены после прокладки трубопроводов в полу и скрытой проводки. Монтаж инженерных систем и технологического оборудования также может быть произведен в несколько этапов и т.д.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате анализа большого количества реальных календарных планов выявлена основная приоритетность работ, которая в подавляющем большинстве случаев ведет к правильной хронологической последовательности в календарном плане. В целом она сводится к следующему списку, подготовленному автором (табл. 2).

В табл. 2 указан также начальный приоритет группы работ, определенный исходя из приблизительно равной плотности заполнения таблицы приоритетов для каждой группы работ. Внутри группы приоритеты должны быть расставлены, исходя из примерной технологической последовательности видов работ. Такие последовательности разработаны автором для наиболее часто применяемых групп работ.

Табл. 2. Основная приоритетность работ

Table 2. Basic priority of works

Группа организационно-технологических процессов Group of organizational and technological processes	Приоритет Priority
Организационная подготовка к строительству / Pre-construction works	100 000
Инженерно-изыскательские работы / Engineering surveys	105 000
Проектные работы / Design works	140 000
Сопутствующие работы в период проектирования и изысканий Supplementary works in the course of designing and surveying	195 000
Тендерно-договорная кампания / Tendering and contracting	198 000
Устройство пионерных временных зданий и сооружений Installation of temporary pilot buildings and facilities	200 000
Внеплощадочные подготовительные работы / Offsite preparation works	203 000
Снос, демонтаж, внутриплощадочные подготовительные работы Demolishing, dismantling, onsite preparation works	224 000
Перевозка грунта и строительного мусора, прием отходов сноса Transportation of soil and construction waste, debris removal	230 000
Устройство временных зданий и сооружений / Installation of temporary buildings and structures	240 000
Перекладка инженерных сетей, пересадка зеленых насаждений Re-laying of utility networks, greenery replanting	245 000

Окончание Табл. 2 / End of Table 2

Группа организационно-технологических процессов Group of organizational and technological processes	Приоритет Priority
Гидротехнические сооружения в морской и речной акватории Hydraulic engineering structures in water areas of seas and rivers	250 000
Горнопроходческие работы / Mining works	280 000
Буровзрывные работы / Drilling and blasting works	300 000
Строительство метрополитенов, тоннелей, подземных сооружений Construction of subways, tunnels and underground facilities	305 000
Земляные работы (котлованы, траншеи) / Earth works (pits, trenches)	315 000
Бурение скважин, свайные работы, устройство «стен в грунте» Well drilling, piling, installation of buried walls	330 000
Устройство и гидроизоляция фундаментов / Construction and waterproofing of foundations	340 000
Земляные работы (засыпка, насыпи, уплотнение грунтов) Earth works (back filling, embankment fill, ground compaction)	345 000
Строительство магистральных трубопроводов / Construction of main pipelines	355 000
Erection of bearing constructions of buildings and structures Возведение несущих конструкций зданий и сооружений	380 000
Устройство ограждающих конструкций зданий и сооружений, кровли Installation of enclosing constructions of buildings and structures, roofing	400 000
Устройство технологических конструкций (тоннелей, дорог, аэродромов, ЛЭП); Construction of process structures (tunnels, roads, airdromes, power transmission lines);	410 000
Изоляционные работы / Insulation works	430 000
Заполнение проемов, устройство полов / Filling of openings, flooring	438 000
Фасады, основные отделочные работы / Facades, principal finishing works	445 000
Устройство внутренних инженерных систем / Installation of internal utility systems	455 000
Строительство наружных коммуникаций / Construction of external utilities	460 000
Работы по монтажу технологического оборудования и трубопроводов Assembly of process equipment and pipelines	480 000
Обмуровка, футеровка, гуммирование, изоляция оборудования Bricking, lining, rubber coating, insulation of equipment	550 000
Электротехнические работы, устройство сетей связи, автоматики Electrical works, installation of communication networks, automatic equipment	560 000
Ремонт оборудования / Equipment repair	600 000
Пусконаладочные работы / Commissioning	720 000
Финишные отделочные работы / Fitout works	740 000
Благоустройство и озеленение территории / Landscaping	745 000
Ремонтно-реставрационные работы по памятникам истории и культуры Repair and restoration of historical and cultural landmarks	750 000
Сдача объекта в эксплуатацию / Commissioning	780 000
Техническое обслуживание и ремонт дорог, сооружений и оборудования городского хозяйства Maintenance and repair of roads, structures and municipal engineering facilities	785 000
Содержание и эксплуатация зданий и сооружений / Maintenance and operation of buildings and structures	850 000

В некоторых случаях должен быть установлен одинаковый приоритет для нескольких работ, например, для спаренных расценок, на основании которых определяются затраты основного и дополнительного слоев покрытия: в действительности эти слои выполняются одновременно. Кроме того, должны быть учтены вспомогательные элементы и работы, которые иногда не выделяются архитекторами, например, обделки на фасадах при формировании кровель и т.п. Такие работы могут не иметь приоритета и должны учитываться дополнительным коэффициентом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанный перечень приоритетов работ позволяет автоматизировать процессы создания календарных планов на основе списка элементов и конструкций здания. Разумеется, в необходимых случаях проектировщик может внести изменения в перечень приоритетов, переставить или добавить отдельные группы работ. В дальнейшем необходимо сформировать словарь, позволяющий по набору параметров конструктивного элемента подобрать подходящий строительный процесс, что в ряде случаев повлечет за собой выбор соответствующих технологий производства работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kivits R.A., Furneaux C. BIM: Enabling sustainability and asset management through knowledge management // *The Scientific World Journal*. 2013. Pp. 1–14. DOI: 10.1155/2013/983721
2. Soltani S. The contributions of building information modeling to sustainable construction // *World Journal of Engineering and Technology*. 2016. Vol. 04. Issue 02. Pp. 193–199. DOI: 10.4236/wjet.2016.42018
3. Chen Ch., Tang L. BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance // *Automation in Construction*. 2019. Vol. 107. P. 102944. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102944
4. Hartmann T., van Meerveld H., Vosseveld N., Adriaanse A. Aligning building information model tools and construction management methods // *Automation in Construction*. 2012. Vol. 22. Pp. 605–613. DOI: 10.1016/j.autcon.2011.12.011
5. Eadie R., Browne M., Odeyinka H., McKewon C., McNiff S. BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: an analysis // *Automation in Construction*. 2013. Vol. 36. Pp. 145–151. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.09.001
6. Benghi C. Automated verification for collaborative workflows in a digital plan of work // *Automation in Construction*. 2019. Vol. 107. P. 102926. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102926.
7. Гусаков А.А. Системотехника строительства. 2-е изд. М. : Стройиздат, 1993. 386 с.
8. Павлов А.С. Передача информации и распознавание объектов в системах строительного проектирования. М. : Изд-во «Новое тысячелетие», 2003. 259 с.
9. Гинзбург А.В., Куликова Е.Н., Павлов А.С., Вайнштейн М.С. Обеспечение интероперабельности при проектировании с применением технологий информационного моделирования // *Вестник Евразийской науки*. 2019. Т. 11. № 6. URL: <https://esj.today/PDF/25SAVN619.pdf>
10. Grilo A., Jardim-Goncalves R. Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working Environments // *Automation in Construction*. 2010. Vol. 19. Issue 5. Pp. 522–530. DOI: 10.1016/j.autcon.2009.11.003
11. Wu J., Zhang J. New automated BIM object classification method to support BIM interoperability // *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2019. Vol. 33. Issue 5. P. 04019033. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000858
12. Каракозова И.В., Малыха Г.Г., Куликова Е.Н., Павлов А.С., Панин А.С. Организационное сопровождение BIM-технологий // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. Вып. 12. С. 1628–1637. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.12.1628–1637
13. East B. Construction-operation building information exchange (COBie). WBDG. 2016. URL: <https://wbdg.org/resources/construction-operations-building-information-exchange-cobie>
14. Каракозова И.В., Малыха Г.Г., Павлов А.С., Панин А.С., Теслер Н.Д. Исследование подготовительных работ для использования BIM-технологий на примере проектирования медицинских организаций // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15. Вып. 1. С. 100–111. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.1.100-111
15. Тарасенко Д.С. Автоматизация процессов планирования строительного производства промышленных объектов : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М. : МАДИ, 2008. 25 с.
16. Коридзе Э.З., Ильягуева М.А. Автоматизация проектирования топологии сетевых моделей // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2009. № 12. С. 22–27. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-proektirovaniya-topologii-setevykh-modeley>
17. Bettemir Ö.H. Experimental design for genetic algorithm simulated annealing for time cost trade-off problems // *International Journal of Engineer-*

ing & Applied Sciences (IJEAS). 2011. Vol. 3. No. 1. Pp. 15–26.

18. Эльшейх Ассер М.Ф.М.А. Информационное моделирование интегрированной автоматизации проектирования и календарного планирования в строительстве : дисс. ... канд. техн. наук. М. : МГСУ, 2015. 139 с.

19. The OmniClass Construction Classification System tables. URL: <https://www.csiresources.org/standards/omniclass>

20. Charette R.P., Marshall H.E. UNIFORMAT II elemental classification for building specifications, cost estimating, and cost analysis. NIST U.S. Department of Commerce. 1999. 109 p.

21. Masterformat — Master list of numbers and titles for the construction industry. Construction Specifications Institute, 2014 update.

22. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). 6th Ed. PMI : Newtown, PA, USA, 2017.

Поступила в редакцию 17 июля 2020 г.

Принята в доработанном виде 9 августа 2020 г.

Одобрена для публикации 31 августа 2020 г.

ОБ АВТОРЕ: **Ирина Викторовна Каракозова** — кандидат технических наук, доцент, начальник отдела методологии разработки и актуализации нормативно-методических документов в строительстве; **Государственное автономное учреждение города Москвы «Научно-исследовательский аналитический центр» (ГАУ «НИАЦ»);** 125047, г. Москва, ул. 1-я Брестская, д. 27; доцент кафедры менеджмента и инноваций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 655795, Scopus: 57190864252; i.kar@inbox.ru.

REFERENCES

1. Kivits R.A., Furneaux C. BIM: enabling sustainability and asset management through knowledge management. *The Scientific World Journal*. 2013; 1-14. DOI: 10.1155/2013/983721

2. Soltani S. The contributions of building information modeling to sustainable construction. *World Journal of Engineering and Technology*. 2016; 04(02):193-199. DOI: 10.4236/wjet.2016.42018

3. Chen Ch., Tang L. BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance. *Automation in Construction*. 2019; 107:102944. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102944

4. Hartmann T., van Meerveld H., Vosseveld N., Adriaanse A. Aligning building information model tools and construction management methods. *Automation in Construction*. 2012; 22:605-613. DOI: 10.1016/j.autcon.2011.12.011

5. Eadie R., Browne M., Odeyinka H., McKewon C., McNiff S. BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: an analysis. *Automation in Construction*. 2013; 36:145-151. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.09.001.

6. Benghi C. Automated verification for collaborative workflows in a digital plan of work. *Automation in Construction*. 2019; 107:102926. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102926.

7. Gusakov A.A. *System engineering in construction*. 2nd ed. Moscow, Stroyisdat publ., 1993; 386. (rus.).

8. Pavlov A.S. *Data transfer and object recognition in building design systems*. Moscow, Novoje Tysjacheletie publ., 2003; 269. (rus.).

9. Ginzburg A.V., Kulikova E.N., Pavlov A.S., Vainshtein M.S. Interoperability in construction design by means of information modeling technologies. *The Eurasian Scientific Journal*. 2019; 11(6). URL: <https://esj.today/PDF/25SAVN619.pdf> (rus.).

10. Grilo A., Jardim-Goncalves R. Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working Environments. *Automation in Construction*. 2010; 19(5):522-530. DOI: 10.1016/j.autcon.2009.11.003

11. Wu J., Zhang J. New automated BIM object classification method to support BIM interoperability. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2019; 33(5):04019033. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000858

12. Karakozova I.V., Malycha G.G., Kulikova E.N., Pavlov A.S., Panin A.S. Organizational support of BIM-technologies. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2019; 14(12):1628-1637. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.12.1628-1637 (rus.).

13. East B. Construction-operation building information exchange (COBie). *WBDG*. 2016. URL: <https://wbdg.org/resources/construction-operations-building-information-exchange-cobie>

14. Karakozova I.V., Malykha G.G., Pavlov A.S., Panin A.S., Tesler N.D. Study of preparatory activities on using BIM-technologies in the medical enterprise design. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(1):100-111. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.1.100-111 (rus.).

15. Tarasenko D.S. *Automation of planning processes for construction production of industrial facili-*

ties : dissertation abstract candidate of technical sciences. Moscow, 2008; 25. (rus.).

16. Koridze E.Z., Ilyagueva M.A. Automatization of topology net models construction. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2009; 12:22-27. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-proektirovaniya-topologii-setevykh-modeley> (rus.).

17. Bettemir Ö.H. Experimental design for genetic algorithm simulated annealing for time cost trade-off problems. *International Journal of Engineering & Applied Sciences (IJEAS)*. 2011; 3(1):15-26.

18. Elsheikh Asser. *Information modeling of integrated design automation and scheduling in construc-*

tion : dissertation of candidate of technical sciences. Moscow, 2015; 139. (rus.).

19. *The OmniClass construction classification system tables*. URL: <https://www.csiresources.org/standards/omniclass>

20. Charette R.P., Marshall H.E. *UNIFORMAT II elemental classification for building specifications, cost estimating, and cost analysis*. NIST U.S. Department of Commerce. 1999; 109.

21. *Masterformat — Master list of titles and numbers for the construction industry*. Construction Specifications Institute, 1988.

22. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide), 6th Ed.* PMI, Newtown, PA, USA, 2017.

Received July 17, 2020.

Adopted in revised form on August 9, 2020.

Approved for publication on August 31, 2020.

B I O N O T E S: **Irina V. Karakozova** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department for the methodology of rules development in construction; **Moscow State Autonomous Institution Research analytical center (NIAZ)**; 27 First Brestskaya st., Moscow, 125047, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Management and Innovation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 655795, Scopus: 57190864252; i.kar@inbox.ru.

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

(наименование банка получателя платежа)

БИК 0 4 4 5 2 5 0 0 0

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. х 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

(наименование банка получателя платежа)

БИК 0 4 4 5 2 5 0 0 0

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. х 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/>

