

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

# ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал  
по строительству и архитектуре

Том Vol. 15 Выпуск Issue 2/2020

# VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction  
and Architecture

DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2

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

# ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

**Том 15. Выпуск 2  
2020**

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

Сквозной номер 137

# VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction and Architecture

**Volume 15. Issue 2  
2020**

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

# ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

«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](http://www.mgsu.ru)  
E-mail: [ric@mgsu.ru](mailto: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](mailto: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** 21.02.2020.

**Подписан в свет** 29.02.2020.

Формат 60×84/8. Усл.-печ. л. 17,67. Заказ № 39

Знаком информационной продукции не маркируется.

© ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 2020

## **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., временно исполняющий обязанности ректора, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

*Елена Анатольевна Король*, чл.-корр. Российской академия 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 Тевьевич Беккер**, чл.-корр. Российской академия 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. Броэрс**, 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, Словакская 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-Мартиросян**, д-р техн. наук, руководитель научно-образовательного центра «Геотехника», НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

## **Редакция журнала**

### **Координатор журнальных проектов**

*Ирина Сергеевна Сквородина*

### **Научные редакторы рубрик**

*Вячеслав Сергеевич Семенов*,

*Ашот Георгиевич Тамразян*,

*Александр Николаевич Белкин*

### **Зав. редакцией**

*Лидия Александровна Шитова*

### **Редакторы**

*Татьяна Владимировна Бердникова*,

*Эмилия Борисовна Нетунаева*

### **Редактор-корректор**

*Анна Александровна Дядичева*

### **Дизайн и верстка**

*Александр Петрович Сильванович*

### **Перевод на английский язык**

*Татьяна Владимировна Бердникова*

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 (НИИТИАГ), Москва, Российская Федерация

**Наталья Григорьевна Верстина**, д-р экон. наук, проф., проректор (дополнительное профессиональное образование), 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 академия 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

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

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

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

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

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

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

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

**Наталья Юрьевна Яськова**, д-р экон. наук, проф., зав. каф. инвестиционно-строительного бизнеса, Российской 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

<b>ISSN</b>	1997-0935 (Print) 2304-6600 (Online)
<b>Publication Frequency:</b>	Monthly
<b>Founders:</b>	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.
<b>The Journal enjoys the academic and informational support provided by</b>	The Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), International public organization of assistance to construction education (ASV)
<b>Publisher:</b>	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: <a href="http://www.mgsu.ru">www.mgsu.ru</a> E-mail: ric@mgsu.ru
<b>Printing House:</b>	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.
<b>Website journal:</b>	<a href="http://vestnikmgsu.ru">http://vestnikmgsu.ru</a>
<b>E-mail:</b>	<a href="mailto:vestnikmgsu@mgsu.ru">vestnikmgsu@mgsu.ru</a>
<b>Subscription:</b>	Citizens of the CIS and other foreign countries can subscribe by catalog agency "Informnauka", magazine subscription index 18077.
<b>Signed for printing:</b>	24.01.2020

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 Gladyszewska-Fiedoruk**, Bialystok University of Technology, Republic of Poland

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

**Rolf Katzenbach**, Doctor of Engineering, Professor, Technical University of Darmstadt, Federal Republic of Germany

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

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

Miroslav Premrov, University of Maribor, Republic of Slovenia

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

**Dmitry N. Silka**, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

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

**Josef Vichan**, University of Zilina, Slovak Republic

**Joost Walraven**, Delft University of Technology, Netherlands

**Zbigniew Wojcicki**, Wroclaw University of Technology, Republic of Poland

## **Editorial team of issues**

### **Journal coordinator**

*Irina S. Skovorodina*

### **Scientific editors sections**

*Vyacheslav S. Semenov*,

*Ashot G. Tamrazyan*,

*Alexander N. Belkin*

### **Managing editor**

*Lidiya A. Shitova*

### **Editors**

*Tat'yana V. Berdnikova*,

*Emiliya B. Netunaeva*

### **Corrector**

*Anna A. Dyadicheva*

### **Layout**

*Alexander Silvanovich*

### **Russian-English translation**

*Tat'yana V. Berdnikova*

## **Editorial Council**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Andrey A. Volkov**, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

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

# СОДЕРЖАНИЕ

## КОЛОНКА РЕДАКТОРА

- A.G. Тамразян*  
**С Днем российской науки! . . . . .** 179

## АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

- Нгуен Тхи Хань Фыонг, А.К. Соловьев*  
**Оценка естественного освещения зданий с учетом солнцезащитных конструкций  
при реальных состояниях облачности . . . . .** 180

- К.Р. Азатян, И.А. Мирзоян*  
**Предложение по реконструкции квартала, прилегающего к улицам Вардананц,  
Чаренц и Шагинян города Ереван . . . . .** 201

- М.В. Борисов, Н.В. Бакаева, И.В. Черняева*  
**Нормативно-техническое регулирование в области озеленения городской среды . . . . .** 212

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

- О.В. Мкртычев, А.Ю. Савенков*  
**Методы моделирования фронта воздушной ударной волны для расчета промышленного  
сооружения . . . . .** 223

## СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Е.Г. Величко, Ю.С. Шумилина*  
**К проблеме формирования дисперсного состава и свойств высокопрочного бетона . . . . .** 235

## ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

- В.Г. Гагарин, К.П. Зубарев*  
**Математическое моделирование нестационарного влажностного режима ограждений  
с применением дискретно-континуального подхода . . . . .** 244

## ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

- С.В. Колобова*  
**Инвестиционное планирование мероприятий по санации индустриальной жилой застройки  
Берлина на основе имитационных моделей . . . . .** 257

- С.А. Колодяжный, С.Н. Золотухин, А.А. Абраменко, Е.А. Артемова*  
**Снос зданий и использование материалов, образующихся при реновации  
городских территорий . . . . .** 271

- А.В. Остякова, Е.В. Плюснина*  
**Благоустройство парковых комплексов городских агломераций . . . . .** 294

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ. ДИСКУССИИ И РЕЦЕНЗИИ. ИНФОРМАЦИЯ

- Е.А. Корчагин*  
**Преподаватели кафедры гидротехнических сооружений МИСИ в Великой  
Отечественной войне . . . . .** 307

- Требования к оформлению научной статьи . . . . .** 310

# CONTENTS

## EDITOR COLUMN

*Ashot G. Tamrazyan*

**Congratulations on the Day of Russian Science! . . . . .** 179

## ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION AND REFURBISHMENT

*Nguyen Thi Khanh Phuong, Aleksey K. Solovyev*

**Assessment of building daylight systems considering sunscreens under real conditions of the sky . . . . .** 180

*Karen R. Azatyan, Inga A. Mirzoyan*

**Proposal for the reconstruction of the quarter adjacent to the streets Vardanants, Charents,  
and Shahinyan of Yerevan city . . . . .** 201

*Mikhail V. Borisov, Natalia V. Bakaeva, Irina V. Chernyaeva*

**Normative and technical regulation in the field of urban green space arrangement . . . . .** 212

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

*Oleg V. Mkrtychev, Anton Y. Savenkov*

**Methods of simulating the front of the air shock wave for calculating the industrial structure . . . . .** 223

## CONSTRUCTION MATERIAL ENGINEERING

*Evgeniy G. Velichko, Yuliya S. Shumilina*

**To the problem of forming the high-strength concrete dispersed composition and properties . . . . .** 235

## ENGINEERING SYSTEMS IN CONSTRUCTION

*Vladimir G. Gagarin, Kirill P. Zubarev*

**Mathematical modeling of the unsteady moisture condition of enclosures with application  
of the discrete-continuous approach . . . . .** 244

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

*Svetlana V. Kolobova*

**Investment planning of measures for rehabilitation of industrial residential buildings in Berlin  
based on simulation models . . . . .** 257

*Sergey A. Kolodyazhny, Sergey N. Zolotukhin, Anatoliy A. Abramenco, Yekaterina A. Artemova*

**Destruction of buildings and use of materials from renovated urban territories . . . . .** 271

*Aleksandra V. Ostyakova, Ekaterina V. Pluisnina*

**The landscaping of urban agglomeration park systems . . . . .** 294

## SHORT MESSAGES. DISCUSSIONS AND REVIEWS. INFORMATION

*E.A. Korchagin*

**Lecturers of the Department of Hydraulic Installations of the Moscow Institute of Civil Engineering  
named after V.V. Kuibyshev (MISI) in the Great Patriotic War . . . . .** 307

**Requirements for research paper design . . . . .** 310

## **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, plagiarisma 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 applies 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).

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» объявляет о возможности проведения на базе Университета научных исследований в докторантуре по темам:

- «Формирование системы обеспечения инвестиционной привлекательности в градостроительной деятельности как базового фактора обновления сложившейся застройки города» (научная специальность 08.00.05 — Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами (строительство));
- «Методология реконструкции и обновления линейно-протяженных градостроительных объектов с использованием инновационных технологий» (научная специальность 05.23.22 — Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (технические науки)).

# КОЛОНКА РЕДАКТОРА

## С Днем российской науки!

### Congratulations on the Day of Russian Science!

Уважаемые читатели!

Журнал «Вестник МГСУ» на сегодняшний день является главным вестником науки и инновационных решений в строительной отрасли страны. Необходимость развития научного потенциала МГСУ выходит на новый этап в связи с большими планами поддержания дальнейшего статуса нашего университета. Поэтому журнал является зеркалом нашей научной деятельности. В отличие от высказывания, что «Любая формула, включенная в книгу, уменьшает число ее покупателей вдвое», «Вестник МГСУ» как раз призывает и ценит эти новые формулы, решения на своих страницах, поэтому читается с интересом и пользуется популярностью.

Поздравляю наших читателей с Днем российской науки! Желаю всем аспирантам, научным руководителям, работающим над диссертациями, всегда подтверждать выдвинутые гипотезы, не превращая их в проблему, и чтобы полученная вами научная новизна была лучшим подарком в вашей жизни! Связь в тандеме «Мы и наука, наука и мы» делает нас более ответственными в профессии.

Реализация государственных программ не должна проходить без активного, высокопрофессионального участия. Наработанный опыт наших ученых имеет большую ценность, и при этом для обеспечения его долгосрочности и преемственности важно не останавливаться на достигнутом. Необходимо создавать научные школы, дискуссионные площадки, поддерживать инициативу молодых, дать возможность практической реализации этого потенциала, что позволит сохранить огромный опыт, знания и получить признание.

В настоящее время наибольший научный интерес представляют работы, связанные с обеспечением безопасности зданий и сооружений при аварийных, динамических нагрузках и их влияние на стойкость к прогрессирующему разрушению. В связи с этим впервые проводятся исследования, связанные с ударными воздействиями в условиях высоких температур при пожаре, а также при эксплуатации зданий в любой агрессивной среде, кардинально изменяющие как свойства конструкций, так и их расчетную схему, что приводит к новым качественным и количественным результатам.

Заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ  
доктор технических наук, профессор  
А.Г. Тамразян



Любую задачу строительных конструкций, рассматриваемую с позиций прочности, устойчивости, долговечности и т.п., необходимо проверять на приемлемость предлагаемых заключений оптимального проектирования, что является актуальным для строительной отрасли в целом. Достигнутый на сегодняшний день уровень исследований в этой научной области делает возможным решение данной проблемы с учетом рисков и заданного уровня безопасности зданий и сооружений, отсутствие учета которых может исказить действительные выводы об оптимальности того или иного результата.

Разрабатываемое научное направление ориентировано на выполнение важнейших народно-хозяйственных задач, связанных с обеспечением живучести и безопасности зданий и сооружений, уменьшением риска обрушения, минимизацией ресурсов и направлено на инновационную деятельность.

Поэтому девиз кафедры ЖБК созвучен ее названию — «Живучесть без компромиссов».

A handwritten signature in black ink, appearing to read "А.Г. Тамразян".

# АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

УДК 628.92

DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.180-200

## Оценка естественного освещения зданий с учетом солнцезащитных конструкций при реальных состояниях облачности

Нгуен Тхи Хань Фюонг, А.К. Соловьев

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

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Светотехника — комплексная научная область, которая требует обобщения знаний при оценке визуального комфорта, конструктивного, архитектурного решения, а также других областей, включая гуманитарные науки. Глобальные экологические проблемы и движение за устойчивое развитие требуют от архитектурного проектирования достижения максимальной энергоэффективности. Задачи проектирования систем естественного освещения (ЕО) в реальных условиях неба не могут быть решены без рассмотрения проблем инсоляции и солнцезащитных устройств (СЗУ). В российских и зарубежных стандартах давно поставлены вопросы совершенствования методики расчета ЕО с учетом дополнительного света, отраженного от прилегающих поверхностей при ясном и частично облачном небе. Цель исследования — анализ и совершенствование методики расчета систем ЕО с учетом СЗУ в условиях промежуточного неба.

**Материалы и методы.** Использованы методы поиска и отбора соответствующей литературы в международных реферативных базах, имеющих проработанные инструменты для тематического поиска, а также аналитические методы.

**Результаты.** Предложена методика расчета системы ЕО с учетом СЗУ в условиях промежуточного неба. Анализ полученных формул подтвердил предлагаемую теорию: под влиянием прямого освещения солнца отражение от прилегающих поверхностей значительно повышает уровень ЕО в помещении.

**Выводы.** Оценка ЕО в помещении при промежуточном небе должна учитывать отражение прямой солнечной освещенности. Корректирование задачи при пасмурном небе в расчете связано с доступностью базы данных о световом климате. Это позволяет сформулировать критерии динамической оценки ЕО. Сочетание системы искусственного освещения с режимом автоматического управления гарантирует внутреннюю освещенность и экономию энергии.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** системы естественного освещения, солнцезащитное устройство, промежуточное небо, отражение естественного освещения, световой климат, коэффициент неравномерной яркости, коэффициент естественного освещения, моделирование естественного освещения, энергосбережение

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Нгуен Тхи Хань Фюонг, Соловьев А.К. Оценка естественного освещения зданий с учетом солнцезащитных конструкций при реальных состояниях облачности // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 180–200. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.180-200

## Assessment of building daylight systems considering sunscreens under real conditions of the sky

Nguyen Thi Khanh Phuong, Aleksey K. Solovyev

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

### ABSTRACT

**Introduction.** Lighting engineering is a complex scientific field which requires the generalization of knowledge in visual comfort evaluation, design and architectural solutions as well as in other areas including the humanities. Global ecological problems and the drive for Sustainable Development require achieving maximum energy efficiency from architectural designers. The tasks of designing daylight systems under real sky conditions cannot be solved without considering the problems of insolation and sunscreens. Russian and foreign standards cover long-put questions about the need to improve the daylight calculation method considering additional light reflected from adjacent surfaces under the clear and partially cloudy skies. The objective of the study is analysis and improvement of the daylight system calculation method considering sunscreens under intermediate sky conditions.

**Materials and methods.** The methods of searching and selecting relevant literature in international abstract databases with well-developed tools for thematic search as well as analytical methods are described.

**Results.** A method for calculating daylight system considering sunscreens under the intermediate sky conditions is suggested. The analysis of the obtained formulae confirmed the proposed theory: under the influence of direct sunlight, reflection from adjacent surfaces significantly increases the daylight level in a room.

**Conclusions.** Assessment of daylight in a room under the intermediate sky conditions should take into account a reflection of the direct sunlight. Correcting the problem under conditions of the CIE overcast sky model in the calculation is associated with the availability of a light climate database. This approach makes it possible to formulate the criteria for a dynamic daylight assessment. Combination of an artificial lighting system with an automatic control mode guarantees the requirements of indoor illuminance and energy saving.

**KEY WORDS:** daylight systems, sunscreens, intermediate sky, daylight reflection, daylight climate, coefficient of uneven brightness, daylight factor, daylight simulation, energy saving

**FOR CITATION:** Nguyen Thi Khanh Phuong, Solovyev A.K. Assessment of building daylight systems considering sunscreens under real conditions of the sky. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(2):180-200. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.180-200 (rus.).

## ВВЕДЕНИЕ

Ограждающие конструкции со светопропускающими элементами играют важную роль в регулировании микроклиматической среды в помещениях. При этом расчеты по требованиям к естественному освещению (EO) и по тепловому комфорту должны быть обеспечены в процессе проектирования. Польза EO для здоровья, деятельности, визуального комфорта и производительности труда человека доказана во многих исследованиях [1–9]. Совершенствованием методов расчета EO в помещении, параметрами распределения яркости неба в расчетах EO и их применением в различных световых климатических условиях, а также проблемами светотехнических характеристик солнцезащитных устройств (СЗУ) занимались авторы Н.М. Гусев, Н.В. Оболенский, Н.Н. Киреев, В.В. Воронов, З.А. Скобарева, С.В. Стецкий, В.А. Земцов, Т.А. Глаголева, Л.Т. Белова, А.К. Соловьев, Nguyen Sanh Dan, Nguyen Van Muon, Pham Duc Nguyen, Tran Dinh Bac, R. Hopkinson, P. Neufert, S. Darula, R. Kittler, R. Perez, A. Habil, J. Mardaljevic, P. Tregenza, J.A. Veich, I.V. Lim и др.

По-прежнему методы расчета и оценки EO построены на основе расчетов коэффициента естественной освещенности (KEO), которые характерны только для пасмурного неба (Международная комиссия по освещению — МКО, International Commission on Illumination) при расчетах диффузного освещения. Фактически, это небо не является типичным и затрудняет сравнение результатов расчета с экспериментом. Особенно это заметно в жарком климате и в тропических регионах, где суммарная освещенность значительно варьируется. В тропических или субтропических регионах для расчетов EO необходимо учитывать дополнительный отраженный свет от прямого света солнца при промежуточном небе. В современных методиках оценка EO также определяется в соответствии с абсолютной освещенностью. Тем не менее, эта оценка ос-

вещенности все еще выявляет много нерешенных проблем. Значение освещенности является мгновенным, поэтому трудно установить связь между оценкой и архитектурным дизайном проемов.

Архитектурные решения фасадов зданий в жарком климате с использованием СЗУ показаны на рис. 1. Широко проводятся исследования зеленой архитектуры, устойчивой архитектуры в жарком климате Азии — в Сингапуре, Малайзии, Таиланде и др. Оценка эффективности СЗУ при повышении теплового и визуального комфорта была изучена авторами S. Mirrahimi, Al-Tamimi, A. Kirimtak, F.H. Abdullah, K.H. Cheong, V. Mettanant и др. [10–15]. В данных работах используется эмпирическое моделирование или симуляция для анализа воздействия излучения тропического неба и потребления энергии. В трудах Y.W. Lim, H. Lee, S.M. Al-Masrani и др. более подробно [16–18] рассматривается влияние отражающей полки на EO в помещении при разных ориентациях по условиям промежуточного неба с показателем «уровень естественного освещения» (Daylight Ratio). Экспериментальные результаты показывают, что EO в помещении значительно увеличивается под воздействием отражения солнечного света. Однако исследования проводились только на экспериментальных или смоделированных оценках. Полной теории для расчета EO при промежуточном небе не разработано.

Оценка EO зависит от двух главных факторов: местных климатических характеристик дневного света и архитектурных особенностей системы EO. Для жаркого климата с промежуточными типами неба основа расчета EO

Основной целью исследования является расчет EO в промежуточном небе с использованием СЗУ с решением конкретных задач:

- предложить коэффициент, учитывающий влияние СЗУ на EO в помещениях;
- разработать методику расчета EO при наличии СЗУ при промежуточном небе.

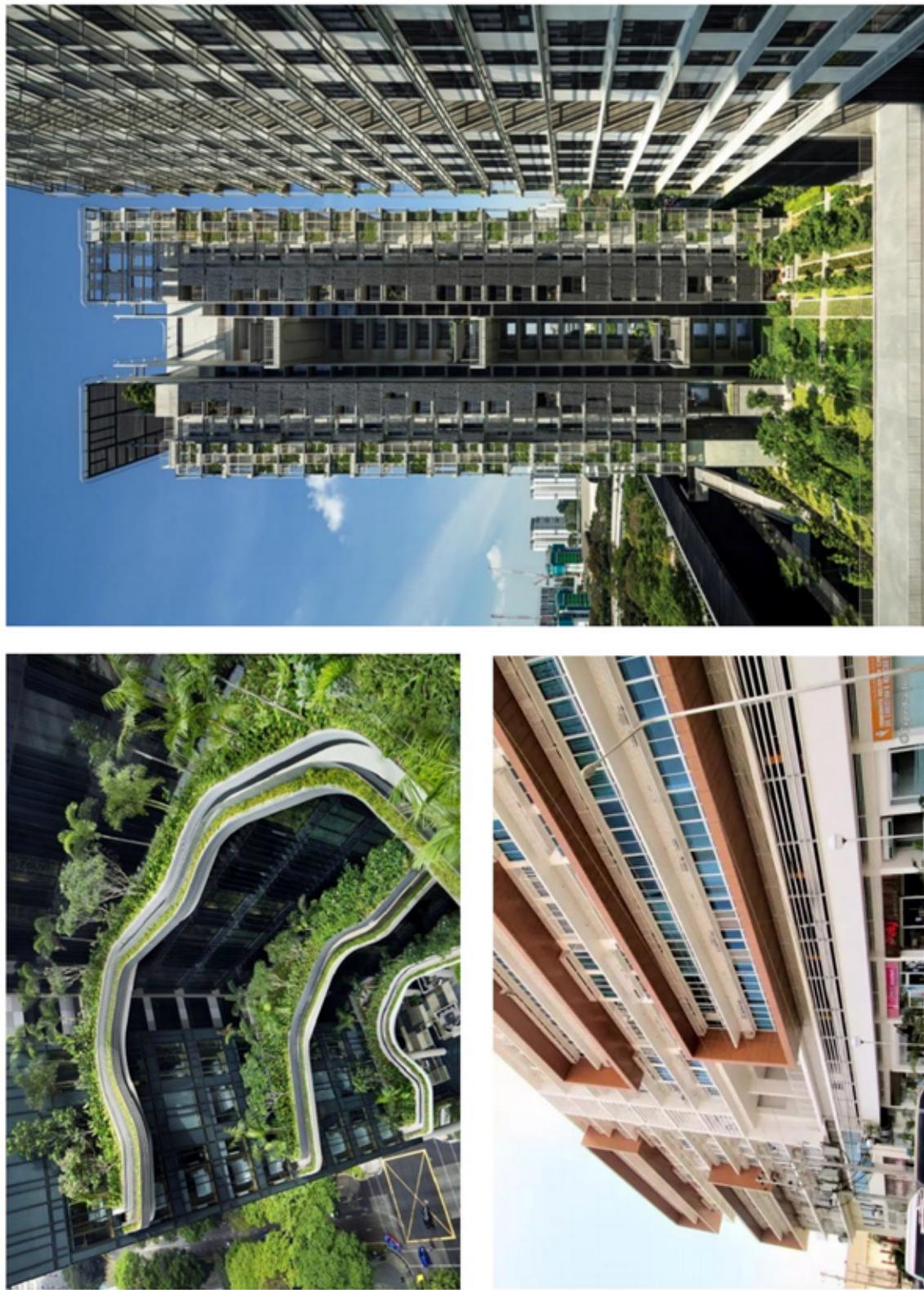


Рис. 1. Методы повышения энергоэффективности в Малайзии, на Филиппинах, в Сингапуре  
Fig. 1. Methods of enhancing energy efficiency in Malaysia, Philippines, Singapore

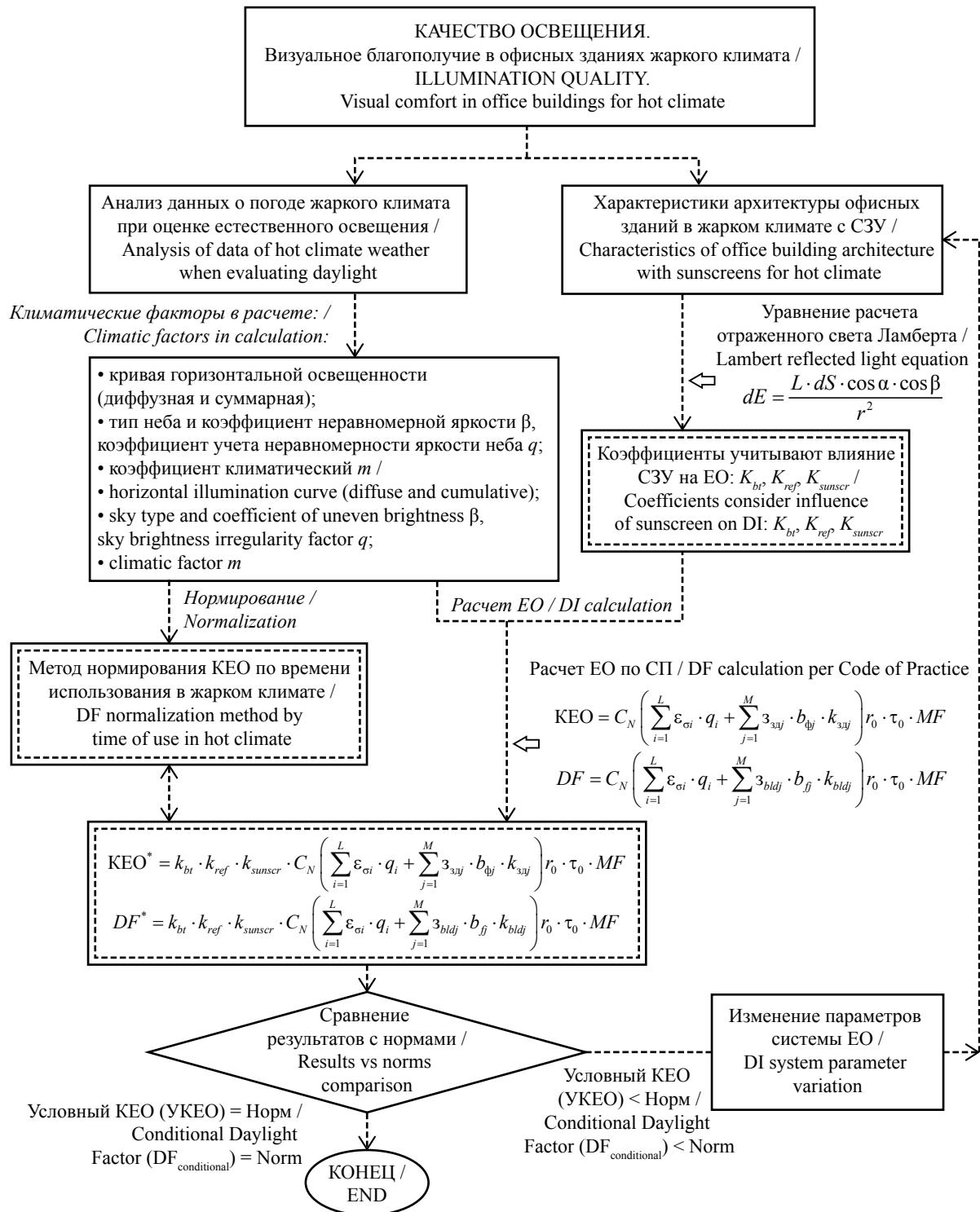


Рис. 2. Схема расчетов системы ЕО в условиях промежуточного неба

Fig. 2. The calculation scheme for a daylight system under intermediate sky conditions

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Диффузная радиация так же, как и диффузная освещенность, характеризуется свойством стабильности. Поэтому в нормах и стандартах проектирования ЕО используется только диффузная освещенность для оценки ЕО.

Прямая радиация отличается динамическими свойствами. Она быстро изменяется во времени и зависит от ориентации, поэтому при нормировании и проектировании светопроеемов мы не рассматриваем прямую солнечную освещенность.

Прямой солнечный свет дает блики и большую тепловую нагрузку в помещении. Наоборот, диффузная освещенность обеспечивает ЕО высокого качества. Блокирование прямой солнечной радиации СЗУ уменьшает диффузную освещенность от неба, но повышает отраженный свет от СЗУ в помещениях.

Проектирование СЗУ зависит от требований инсоляции и солнцезащиты. В исследовании рассматривается влияние СЗУ на уровень ЕО в помещениях при боковом освещении, прямое освещение в помещение не пропускается. Влияние СЗУ на изменение ЕО в помещении характеризуется следующими свойствами, которые предполагается определять по коэффициентам:

- уменьшение ЕО с приближением к поверхности окна при затенении части неба СЗУ, которое характеризуется коэффициентом затенения диффузной радиации и диффузной освещенности от неба СЗУ,  $K_{shad}$ ;
- увеличение ЕО с приближением к поверхности окна при отражении света от СЗУ, которое характеризуется коэффициентом отраженного света от разных поверхностей СЗУ,  $K_{ref}$ .

В исследовании используются поиск и анализ мировой литературы, расчет и анализ норм, стандартов для расчета и оценки ЕО в России и зарубежных странах по критериям КЕО и абсолютной освещенности. Кроме того, применяются аналитические методы для разработки коэффициентов влияния СЗУ при предложении методики расчетов систем ЕО в промежуточном небе.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ОБЗОРА

### Стандартизация ЕО

Доступ к дневному и солнечному свету — важный аспект в проектировании зданий на протяжении нескольких веков. Ранее использовались эмпирические правила, такие как отношение высоты окна и глубины комнаты [19]. Важность ЕО впервые была признана в Великобритании в законе о предписаниях 1832 г., известном как «Закон о праве на

свет» (Act Right of Light) [20, 21], согласно нему любой владелец недвижимости имеет право и должен иметь свой доступ к дневному свету в течение 20 лет. Эти единые правила основаны на геометрической конфигурации окон и окружающих зданий.

Сформулированный в Великобритании показатель оценки ЕО, средний КЕО — это простое отношение внутренней освещенности  $E_{in}$  к беспрепятственной диффузной горизонтальной освещенности  $E_{out}$  при стандартных условиях облачного неба МКО, где вклад прямых солнечных лучей исключен. КЕО не чувствителен как к преобладающему местному климату, так и к ориентации здания [22]. Он выражается формулой

$$\text{KEO} = \frac{E_{in}}{E_{out}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $E_{in}$  — внутренняя освещенность, лк;  $E_{out}$  — наружная диффузная горизонтальная освещенность, лк.

Качество внутренней среды зависит в основном от факторов, влияющих на восприятие человеком света, тепла, шума и воздуха. Для создания хороших и удовлетворительных визуальных условий для работы, отдыха и различных видов деятельности, оценки использования естественного и искусственного света в зданиях должны быть определены критерии и правила проектирования систем освещения, строительства зданий и т.д. [23–28]. Некоторые страны (табл. 1) приняли национальные правила, стандарты для проектирования и оценки ЕО [24].

### Новый европейский стандарт ЕО в зданиях EN 17037

Прогресс в инженерных исследованиях увеличивает роль ЕО как важного фактора для здоровья и труда человека [29, 30]. В Европе здоровье людей и эффективное использование природных источников высоко ценятся, поэтому принят новый стандарт с критериями для оценки ЕО в зданиях. Рабочая группа CEN<sup>1</sup>/TC 169/WG 11 по ЕО была создана с целью разработки стандарта «Дневной свет зданий» (Daylight of buildings). Предлагаемый стандарт по ЕО [31] одобрен экспертами стран CEN. В нем предпринята попытка изменить текущие относительные критерии КЕО на единицы абсолютной освещенности, предписанные для определенных категорий визуальных задач, аналогичных тем, которые используются при искусственном освещении в освещаемых пространствах [24]. Из-за географического охвата территории Европы от Средиземноморья до дальних северных стран этот стандарт вводит новую концепцию медианной внешней рассеянной

<sup>1</sup> CEN — European Committee for Standardization (Европейский комитет по стандартизации — ассоциация, которая объединяет национальные органы по стандартизации в 33 странах Европы).

**Табл. 1.** Отдельные стандарты и документы, содержащие требования и рекомендации для оценки ЕО в зданиях  
**Table 1.** Separate standards and documents containing requirements and recommendations for assessing daylight in buildings

Страна / Country	Обозначение стандарта / Standard designation	Описание / Description
Австралия / Australia	AS 1680.1-2006	Interior lighting — General principles and recommendations
Бельгия / Belgium	NBN L13-002:1972	Dagverlichting van gebouwen — Voorafbepaling van de daglicht-verlichtingssterkte bij overtrokken hemel (benaderende grafische methode)
Бразилия / Brazil	NBR15215-1	Iluminação natural — Parte 1: Conceitos básicos e definições
	NBR 15215-2	Iluminação natural — Parte 2: procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural
	NBR 15215-3	Iluminação natural — Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos
	NBR 15215-4	Iluminação natural — Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição
Канада / Canada	PWGSC 1989	PWC Daylighting manual, Ottawa
Страны-члены Европейского комитета по стандартизации (CEN) / Member countries of European Committee for Standardization (CEN)	EN 17037	Daylight of building
Китай / China	GB 50033-2013	建筑采光设计标准
Чехия / Czechia	ČSN 73 0580-1	Denní osvětlení budov — Část 1: Základní požadavky
	ČSN 73 0580-2	Denní osvětlení budov — Část 2: Denní osvětlení obytných budov
	ČSN 73 0580-3	Denní osvětlení budov. Část 3: Denní osvětlení škol
	ČSN 73 0580-4	Denní osvětlení budov. Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov
Эстония / Estonia	EVS 894: 2008	Loomulik valgustus elu- ja bürooruumides
Германия / Germany	DIN 5034-1	Tageslicht in Innenräumen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen
	DIN 5034-2	Tageslicht in Innenräumen; Grundlagen
	DIN 5034-3	Tageslicht in Innenräumen — Teil 3: Berechnung
	DIN 5034-4	Tageslicht in Innenräumen — Teil 4: Vereinfachte Bestimmung von Mindestfenstergrößen für Wohnräume
	DIN 5034-5	Tageslicht in Innenräumen — Teil 5: Messung
	DIN 5034-6	Tageslicht in Innenräumen — Teil 6: Vereinfachte Bestimmung zweckmäßiger Abmessungen von Oberlichtöffnungen in Dachflächen
Великобритания / Great Britain	BS 8206: Part 2	Lighting for buildings: Code of practice for daylighting
Гонконг / Hong Kong	Regulation APP-130	Lighting and Ventilation Requirements — Performance-based Approach
Япония / Japan	JIES-008-1999	Indoor Lighting Standard
Нидерланды / Netherlands	NEN 2057	Daglichtopeningen van gebouwen
Норвегия / Norway	Regulation No. 77, 14. June 1985	Technical regulations to the Planning and Building. Updated by the regulation No. 1069, 29th August 2001
Польша / Poland	Regulation of Ministry for Infrastruktura, (Dz. U. Poz. 1422)	W sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie
Россия / Russia	СП 23-102-2003	Естественное освещение жилых и общественных зданий
	СП 52.13330.2016	Естественное и искусственное освещение

Страна / Country	Обозначение стандарта / Standard designation	Описание / Description
Сербия / Serbia	SRPS U.C9.100:1963	Дневно и електрично осветљење просторија у зградама
Словакия / Slovakia	STN 73 0580-1	Denné osvetlenie budov. Časť 1: Základné požiadavky
	STN 73 0580-2	Denné osvetlenie budov. Časť 2: Denné osvetlenie budov na bývanie
	STN 73 0580-1/Z2	Denné osvetlenie budov. Časť 1: Základné požiadavky
	Regulation No. 541/2007 Z.z.	o podrobnostiach o požiadavkách na osvetlenie pri práci.
Словения / Slovenia	Rule UL. RS, No. 43, 3.6.2011	Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih
	Rule UL. RS, No. 61, 2.11.2017	Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj
Швеция / Sweden	SS 91 42 01	Byggnadsutformning — Dagsljus — Förenklad metod för kontroll av erforderlig fönsterglasarea
Украина / Ukraine	ДБН В.2.5-28	Природне і штучне освітлення

освещенности  $E_{v,d,med}$  представляющей достаточную дневную доступность освещения в течение полуго-да, в качестве замены неопределенного облачного неба. Этот стандарт охватывает все основные предметы, связанные с дизайном и оценкой естественной визуальной среды, т.е. ЕО, солнечный свет и блики [32–35]. Стандарт может применяться ко всем по-мещениям, регулярно занятые людьми в течение длительных периодов времени, за исключением по-мещений, где ЕО мешает выполнению работы.

#### Сертификация устойчивости зданий BREEAM<sup>2</sup>, LEED<sup>3</sup> — рекомендации по ЕО

Метод экологической оценки эффективности зданий BREEAM<sup>3</sup> [36] — руководящие принципы, которые описывают два способа соответствия для получения единого критерия доступного для дневного освещения. При этом критерии основаны на КЕО и ЕО:

- КЕО, % (Daylight factor — DF): необходимо достичь минимального среднего КЕО на 80 % «соот-ветствующей площади помещения» на высоте рабо-чей плоскости;
- ЕО, лк (Daylight illuminance — DI): необходимо достичь в среднем не менее 200 лк для 2650 ч в год или более, а также не менее 60 лк для 2650 ч в год или более в «наиболее неблагополучной» точке (в обоих случаях на 80 % «соответствующей пло-щади помещения» на высоте рабочей плоскости).

Указанные средние значения КЕО зависят от ши-роты местонахождения здания и колеблются от 1,5 %

для широт менее 40° и до 2,2 % для широт больше или равных 60°. Фактически целью ЕО является ва-риант дневной автономии (Daylight autonomy — DA). Дневная автономия была первой из ряда ежегодных метрик дневного света, которые теперь обычно на-зывают «динамическими метриками дневного света» [37]. Исследование, проведенное авторами Reinhart и Weissman, показало, что высокая освещенность 300 лк хорошо согласуется с оценками студентов как «хорошо освещенное пространство» [38].

Статическая автономность дневного света ос-нована на оценке фактора ЕО в рассматриваемой точке, при условии пасмурного неба МКО. В то вре-мя как динамическая автономность дневного света основана на прогнозе достаточной освещенности в рассматриваемой точке на определенном времененном шаге (по часам или меньше) в течение года<sup>4</sup> [39–40]. Автономность дневного света дает процентную долю года, когда минимальный порог освещенности достигается с помощью дневного света [41–43]:

1. Значение пространственной автономно-сти ЕО (sDA)<sup>5</sup> описывает, сколько света доступно в стандартные рабочие часы. В частности, описы-вается доля площади, которая получает не менее 300 лк (для офисов) в течение не менее чем 50 % рабочего времени в год. Значение sDA между 55 и 74 % указывает на пространство, в котором обыч-но используется ЕО.

2. Одним из показателей вероятности визуаль-ного дискомфорта является количество часов, в те-

<sup>2</sup> BREEAM — The Building Research Establishment Environmental Assessment Method.

<sup>3</sup> LEED — Leadership in Energy and Environmental Design.

<sup>4</sup> Waldram P.J. The Measurement of Illumination; Daylight & Artificial // Journal of the Society of Architects. 1910. Vol. 3. Issue 28. Pp. 131–140.

<sup>5</sup> Spatial Daylight Autonomy.

чение которых прямой солнечный свет может потенциально попасть в пространство. Этот параметр называется «ежегодное воздействие солнечного света» (ASE)<sup>6</sup>. В частности, ASE измеряет процент от площади, которая получает не менее 1000 лк в течение как минимум 250 ч работы в год и обозначается как ASE<sub>1000,250h</sub>. В исследованиях этого вопроса было указано, что пространства, освещенные естественным светом, должны иметь ASE не более 10 % для удовлетворительного визуального комфорта. Эти динамические параметры оценки ЕО в настоящее время предлагаются для мероприятий по сертификации среды здания или устойчивости среды здания, например, системы LEED, BREEAM, DNGB<sup>7</sup>.

3. Схема полезной дневной освещенности (UDI)<sup>8</sup> основана на реакции людей в помещении на уровни дневного света (см. оригинальные документы UDI) [20, 44]. Впервые опубликованная в 2005 г. схема UDI имела 100 и 2000 лк в качестве нижней и верхней границ для достижения полезной дневной освещенности. Значение 2000 лк было пересмотрено в сторону повышения до 3000 лк через несколько лет, когда стали доступны данные более современных исследований [45].

Серьезную обеспокоенность в отношении критерия ЕО вызывает отсутствие ясности и возможность для пользователей подхода по-разному интерпретировать руководство. Например, руководящие принципы рекомендуют: «расчет ЕО должен включать дополнительный свет, поступающий от ясного и частично облачного неба и отраженного солнечного света» [36]. Но ничего не говорится ни о критериях прямого солнечного света, ни о каких-либо указаниях относительно того, как следует проводить его моделирование. Если в моделирование включен прямой солнечный свет, то следует также учитывать работу затеняющих устройств (например, жалюзи). Это жизненно важный фактор, так как результат расчета будет сильно зависеть от отсутствия или наличия жалюзи и их контроля. В свете этих опасений мы считаем, что нынешняя рекомендация по критерию ЕО неполная [46].

*Российские нормы по расчету ЕО СП 23-102-2003<sup>9</sup> и СП 52.13330.2016<sup>10</sup>*

При боковом освещении основной расчет КЕО описывается формулой (2):

$$\text{DF}_{\text{side}}^{\square} = C_N \cdot \left( \sum_{i=1}^L \varepsilon_{gi} q_i + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{bldj} \cdot b_{fj} \cdot k_{bldj} \right) \cdot r_0 \cdot \tau_0 \cdot \text{MF}, \quad (2)$$

где  $C_N$  — коэффициент светового климата;  $L$  — число участков небосвода, видимых через световой проем из расчетной точки;  $\varepsilon_{gi}$  — геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет от  $i$ -го участка неба;  $q_i$  — коэффициент неравномерной яркости  $i$ -го участка облачного неба МКО;  $M$  — число участков фасадов зданий противостоящей застройки, видимых через световой проем от расчетной точки;  $\varepsilon_{bldj}$  — геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий свет, отраженный от  $j$ -го участка фасадов зданий противостоящей застройки, %;  $b_{fj}$  — средняя относительная яркость  $j$ -го участка фасадов зданий противостоящей застройки, физическая сущность этого коэффициента аналогична коэффициенту  $q$ ;  $k_{bldj}$  — коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий;  $r_0$  — коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию;  $\tau_0$  — общий коэффициент светопропускания; MF — коэффициент эксплуатации.

Формула (2) применяется в расчете КЕО в условиях МКО пасмурного неба, соответственно используется коэффициент неравномерности яркости  $q$  для облачного неба. В этой формуле коэффициент  $\tau_4$ , учитывающий потери света при наличии СЗУ, не завершенный, так как влияние размеров и отражения ЕО от СЗУ не учитывается.

### Практические расчеты и оценки ЕО при проектировании зданий и сооружений, программа Radiance

Инженеры регулярно используют компьютерное моделирование для прогнозирования внутренней среды и энергопотребления зданий на этапе проектирования. Результаты имитационных исследований могут послужить основой для существенных особенностей конструкции здания с вытекающими отсюда затратами времени и материалов [47]. Как следствие, практики выбирают те программы моделирования, которые прошли проверочные тесты и доказали свою пригодность для решения определенных задач. Прогнозы сравниваются с измерениями и производится оценка точности программы. На практике, однако, часто бывает трудно с уверенностью определить реально возникающие условия в имитационной модели, потому что знание реальности обычно является неполным и неточным [48–50].

<sup>6</sup> Annual Sunlight Exposure.

<sup>7</sup> Global Benchmark for Sustainability.

<sup>8</sup> Useful Daylight Illuminance.

<sup>9</sup> СП 23-102-2003. Естественное освещение жилых и общественных зданий. М., 2005. 81 с.

<sup>10</sup> СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение (Daylighting and artificial lighting). Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*. М., 2017. 102 с.

Система моделирования освещения Radiance стала предметом ряда подтвержденных исследований, показавших, что она точнее, чем любая другая сопоставимая система [51–57]. В частности, для моделирования дневного света Radiance был проведен с использованием набора данных BRE-IDMP<sup>11</sup> (Создание исследовательских учреждений в рамках Международной программы измерения дневного света) [58]. Исследования показали, что точность прогнозов Radiance очень высока при оценке EO с критериями KEO в условиях облачного неба.

Стандартная модель неба МКО обычно применяется для представления фактически возникающих условий облачности. Когда это делается с целью проверки точности компьютерных прогнозов освещенности важно, чтобы реальная картина яркости неба была идентична или, по крайней мере, очень похожа на ту, которая использовалась для моделирования. В противном случае становится невозможным определить причину какого-либо расхождения между измеренной и смоделированной освещенностью: это может в равной степени быть результатом плохой работы программы моделирования или того, что смоделированное небо отличалось от реального неба во время измерения. Существует ряд критериев, описанных для определения стандартного пасмурного неба МКО. Эти критерии включают в себя [58]:

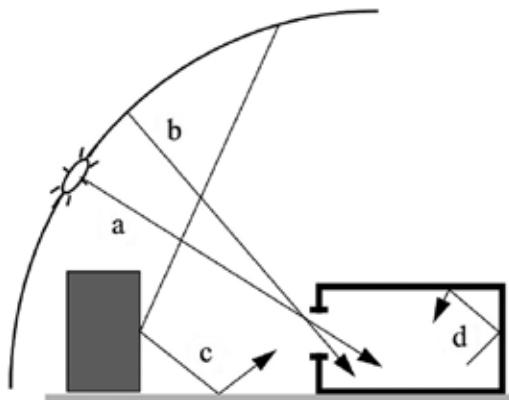
- визуальное наблюдение — небо выглядит сильно облачным, без заметной околосолнечной области и плавного распределения яркости;
- низкая общая горизонтальная освещенность — обычно в сочетании с визуальными наблюдениями;
- когда глобальная горизонтальная освещенность равна диффузной горизонтальной освещенности, другими словами — подтверждение измерениями того, что вклад прямой солнечной горизонтальной освещенности незначителен;
- небольшие колебания в последовательных измерениях глобальной горизонтальной освещенности через короткие промежутки времени для, казалось бы, пасмурного неба.

Примером является применение вычислительных методов и программирования совместно с программой DesignBuilder, которая обеспечивает два типа расчетов EO [47, 59–65]:

- графики EO, средний коэффициент и равномерность EO генерируются для каждой зоны, рассчитанной с использованием механизма моделирования лучевой трассировки. Представляются стандартные отчеты, детализирующие параметры нормативных показателей для EO: LEED EQ8.1, BREEAM HW1 и Green Star IEQ4;

• EO интегрировано в программный комплекс EnergyPlus, что позволяет рассчитывать экономию электрического освещения на основе почасовой зависимости от существующих данных о горизонтальной освещенности в течение года.

Программа DesignBuilder Radiance обеспечивает подробный многозонный физический расчет уровней освещенности на рабочей плоскости. Расчеты учитывают свет, проходящий через окна, по схеме на рис. 3, а также учитывают эффект затенения и отражения локальных СЗУ при облачных условиях. Системы затенения окна, такие как решетчатые и рассеивающие жалюзи, не включаются в расчеты Radiance.



**Рис. 3.** Компоненты дневного света: а — прямой солнечный свет; б — прямой свет от неба; в — внешне отраженный; д — внутренне отраженный

**Fig. 3.** Daylight components: a — direct sunlight; b — direct light from the sky; c — externally reflected light; d — internally reflected light

Модель неба, которая будет использоваться для расчетов EO, выбрана по работе [65]:

1. МКО солнечный ясный день, распределение неба соответствует стандартному условию МКО ясного неба с дополнительным прямым освещением от солнца. Ожидание очень ярких пятен из-за прямого освещения от солнца в относительно темных областях, куда прямой солнечный свет не попадает.

2. МКО ясный день, стандартное распределение МКО ясного неба без прямого освещения от солнца.

3. МКО солнечный промежуточный день, небо с промежуточными условиями между пасмурным и ясным небом с включением прямой освещенности от солнца.

4. Промежуточный день МКО, стандартное промежуточное небо МКО с условиями распределения освещенности между пасмурным и ясным небом. Прямое освещение от солнца отсутствует.

5. Пасмурный день МКО, стандартное пасмурное небо МКО, первоначально известный как небо Муна — Спенсер, разработано, чтобы представить

распределение яркости, наблюдаемое для облачного неба. Принятое в качестве стандарта МКО в 1955 г., это описание наиболее часто используется для моделирования освещенности. В этой модели яркость неба постепенно увеличивается с высотой от горизонта до зенита, и не зависит от азимута.

6. Пасмурный день МКО (в масштабе), этот вариант аналогичен описанному выше пасмурному дню, но масштабируется с использованием стандартной освещенности неба в зените. По умолчанию зенитная освещенность установлена на 10 000 лк, так что КЕО можно рассчитать просто как значения освещенности рабочей плоскости, делится на 100. Эта опция часто применяется для расчета КЕО.

7. Равно яркое небо, где освещение неба абсолютно равномерно.

Значение КЕО имеет смысл только для пасмурного и равномерного неба МКО, т.е. без солнца. Поэтому DesignBuilder и другие программы рассчитывают только КЕО для стандартного пасмурного неба МКО; при условии промежуточного неба, оценка ЕО определяется освещенностью или по значениям sDA EO и ASE. Таким образом, оценка системы ЕО, которая указывает соотношение внутренней и горизонтальной освещенности под промежуточным небом с дополнительным отраженным светом, не была определена.

### Перспективы теоретического развития

В практике проектирования ЕО многие недостатки в стандартных системах и методах расчетов требуют обновления последних. До сих пор теоретическая оценка статической ЕО по значению КЕО рассматривается только для пасмурного неба МКО. С промежуточными типами неба для фиксированного положения солнца и для определенной геометрии помещения внутренняя освещенность считается пропорциональной внешней горизонтальной освещенности  $E_D$ . На самом деле это должно быть связано с более гибким показателем, чем КЕО. Однако в жарком солнечном климате с высоким тепловым излучением, например в тропических странах, в помещении должна быть только диффузная ЕО. Системы ЕО с СЗУ используются для предотвращения попадания внутрь прямого излучения, уменьшения теплопоступлений и бликов. В средней полосе можно допускать попадание в помещение солнечного света, за исключением случаев, когда это может вызвать тепловой или визуальный дискомфорт для пользователей или порчу материалов [66–68]. Аналогично в помещении допускается только полностью рассеянное ЕО от света неба и отраженное ЕО от прилегающих поверхностей (т.е. от земли, СЗУ и т.п.). При промежуточных типах неба, отраженный свет позволяет повысить ЕО в помещении во много раз.

В нормах [69] сказано: «Как правило, солнечный свет не должен падать непосредственно на людей при работе. С другой стороны, его следует использовать для повышения общей яркости интерьеров с участками повышенной освещенности. Рассмотрение солнечного света должно влиять на форму здания с ранних этапов проектирования, потому что неправильные решения относительно ориентации помещений или геометрической формы здания могут препятствовать попаданию солнечного света или вызывать чрезмерное затенение окружающей среды. Ориентация окон должна учитывать периоды пребывания людей и любые предпочтения относительно солнечного света в определенное время суток... В некоторых случаях важно, чтобы прямой солнечный свет попадал на наружные прилегающие поверхности к окнам». Примечание: «Солнечный свет, попадающий в комнату, может оказывать существенное влияние на тепловой комфорт и энергопотребление здания. Зимой это может быть важным вкладом в отопление, но чрезмерное солнечное облучение вызывает серьезный дискомфорт, а в зданиях с кондиционированием воздуха — не нужное использование энергии для охлаждения».

В исследовании [48] (J. Mardaljevic, 2004) отмечено, что: «Прогнозы освещенности особенно чувствительны к заданной отражательной способности поверхностей, когда прямая составляющая освещения мала». В обсуждении C.F. Reinhart<sup>12</sup> написано: «Я был удивлен, что автор (J. Mardaljevic) никогда не предлагал использовать динамическую модель неба, такую как Perez (1993) [70] вместо модели облачного неба МКО. В то же время, в модели Perez учитывается прямая и рассеянная освещенность или излучение, и было продемонстрировано, что она адекватно моделирует распределение света при большем количестве различных условий неба».

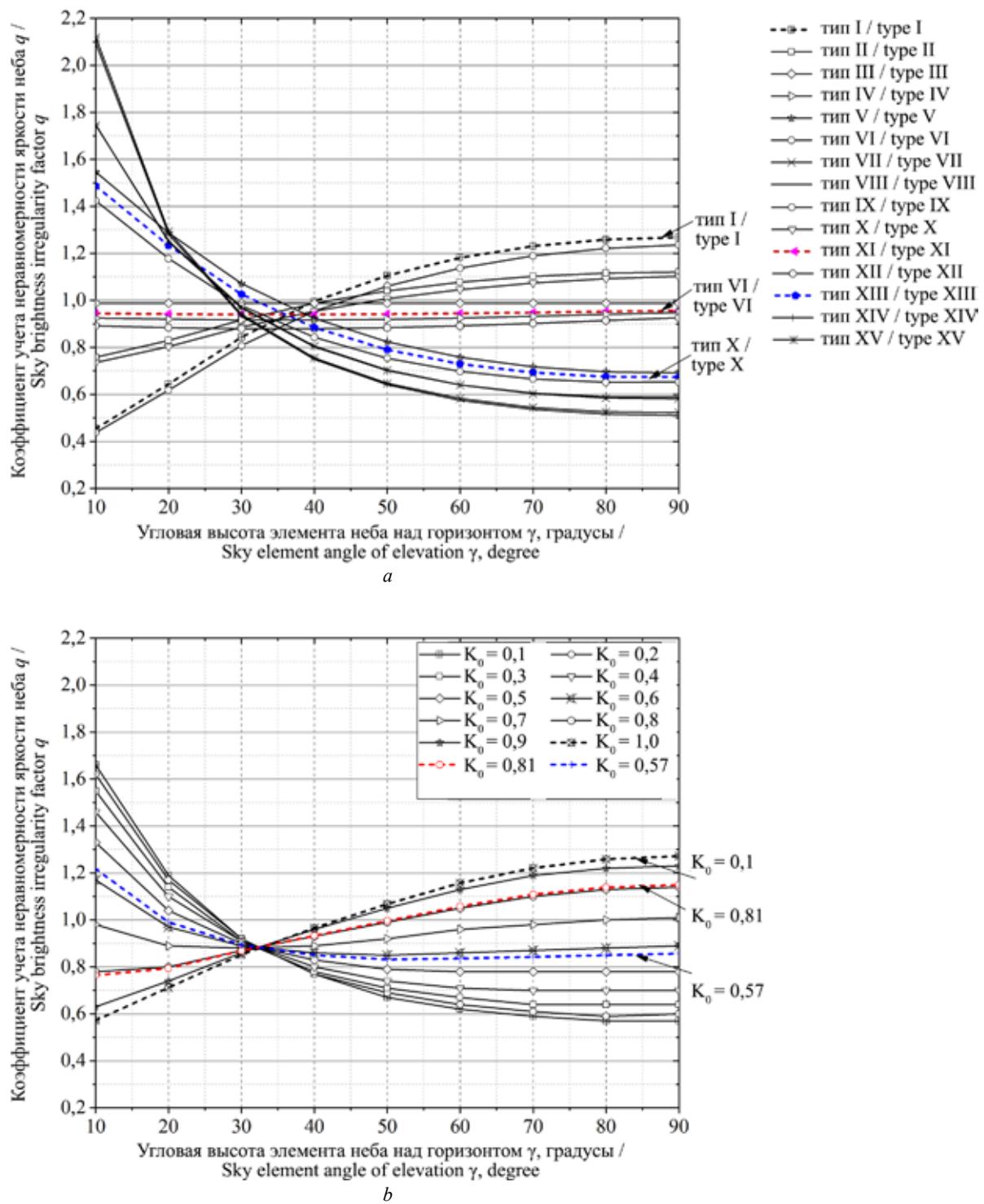
Факторы светового климата рассматриваются в расчете ЕО в реальном промежуточном небе, можно перечислить фундаментальное влияние загрязнения атмосферы, особенно в городах и промышленных зонах, значительно влияющее на изменение уровня освещенности от неба и солнца [71–76]. Особенно это важно в субтропическом и тропическом климате с большим количеством солнечных дней из-за повышенной влажности и рассеивающих первьевых облаков, постепенно покрывающих все небо [77]. Определение времени для расчета и географической ориентации [78, 79], которые влияют на координаты солнца или изменения положений солнца с их повторением в течение многих лет, наблюдений за изменениями яркости неба под влия-

<sup>12</sup> From National Research Council, Institute for Research in construction, Ottawa.

нием погоды, атмосферной мутности, типа облаков и видов покрытия, должно учитываться в расчетах. В расчетной формуле (2) влияние положения солнца на распределение яркости видимой части неба характеризуется коэффициентом неравномерной яркости неба  $q$ . При условии промежуточного неба

этот коэффициент определяется в работах [80–84] и будет включен в расчеты ЕО. На рис. 4 приведены примеры результатов определения  $q$  для промежуточного неба в г. Ханое и г. Хошимин (Вьетнам).

Рекомендации по определению коэффициентов влияния СЗУ в расчете ЕО:



**Вестник МГСУ** • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 15. Выпуск 2, 2020  
**Vestnik MGSU** • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 15. Issue 2, 2020

Рис. 4. Коэффициент  $q$  для промежуточного неба, примеры для Ханоя (Тип VI/ $K_0 = 0,81$ ) и Хошимина (Тип X/ $K_0 = 0,57$ ):  
 а — при расчете  $\beta$  по модели Kittle; б — при расчете  $\beta$  по  $K_0$

Fig. 4. Factor  $q$  for the intermediate sky, examples for Hanoi (Type VI/ $K_0 = 0,81$ ) and Ho Chi Minh City (Type X/ $K_0 = 0,57$ ):  
 a — when calculating  $\beta$  as per the Kittle model; b — when calculating  $\beta$  by  $K_0$

1. Коэффициент уменьшения диффузной радиации в помещении при наличии СЗУ  $K_{shad}$ .

СЗУ могут быть полезными элементами управления освещением для систем ЕО. В дополнении к блокированию прямых солнечных лучей они также уменьшают часть неба, видимую из комнаты, таким образом, уменьшая количество рассеянного светового потока, пропускаемого на поверхность окна.

Фактическая световая эффективность зависит от различных климатических факторов: положения солнца, прозрачности атмосферы и диффузии света в атмосфере, статистики облачности, коэффициента отражения от земли и других факторов, таких как водяной пар, частицы льда на большой высоте, пыль и различные газы, а также другие загрязнители, попадающие в воздух в результате деятельности человека.

Коэффициент, учитывающий уменьшение диффузного излучения от солнца при наличии СЗУ  $K_{shad}$

для бесконечных горизонтальных и бесконечных вертикальных, а также для сотовых СЗУ, предложен в работах [85, 86]. Результаты исследования утверждены и включены в пособие 2.91 к СНиП 2.04.05-91 (1993) [87].

Коэффициент уменьшения диффузной радиации в помещении при наличии козырька ( $K_{bt}$  при конечном горизонтальном СЗУ) определен в трудах [88]. Поскольку лучи рассеянного излучения являются центростремительными, необходимо установить начало координат на поверхности окна для расчета  $K_{bt}$  (рис. 5).

Коэффициенты  $K_{shad}$  при наличии конечного горизонтального СЗУ (типа козырька):

$$K_{shad} = 1 - 2\Psi_{cs-cn.ov} = \\ = 1 - \frac{2}{\pi} \left( \arctg \frac{D}{h} - \frac{h}{\sqrt{L_{ov}^2 + h^2}} \cdot \arctg \frac{D}{\sqrt{L_{ov}^2 + h^2}} \right). \quad (3)$$

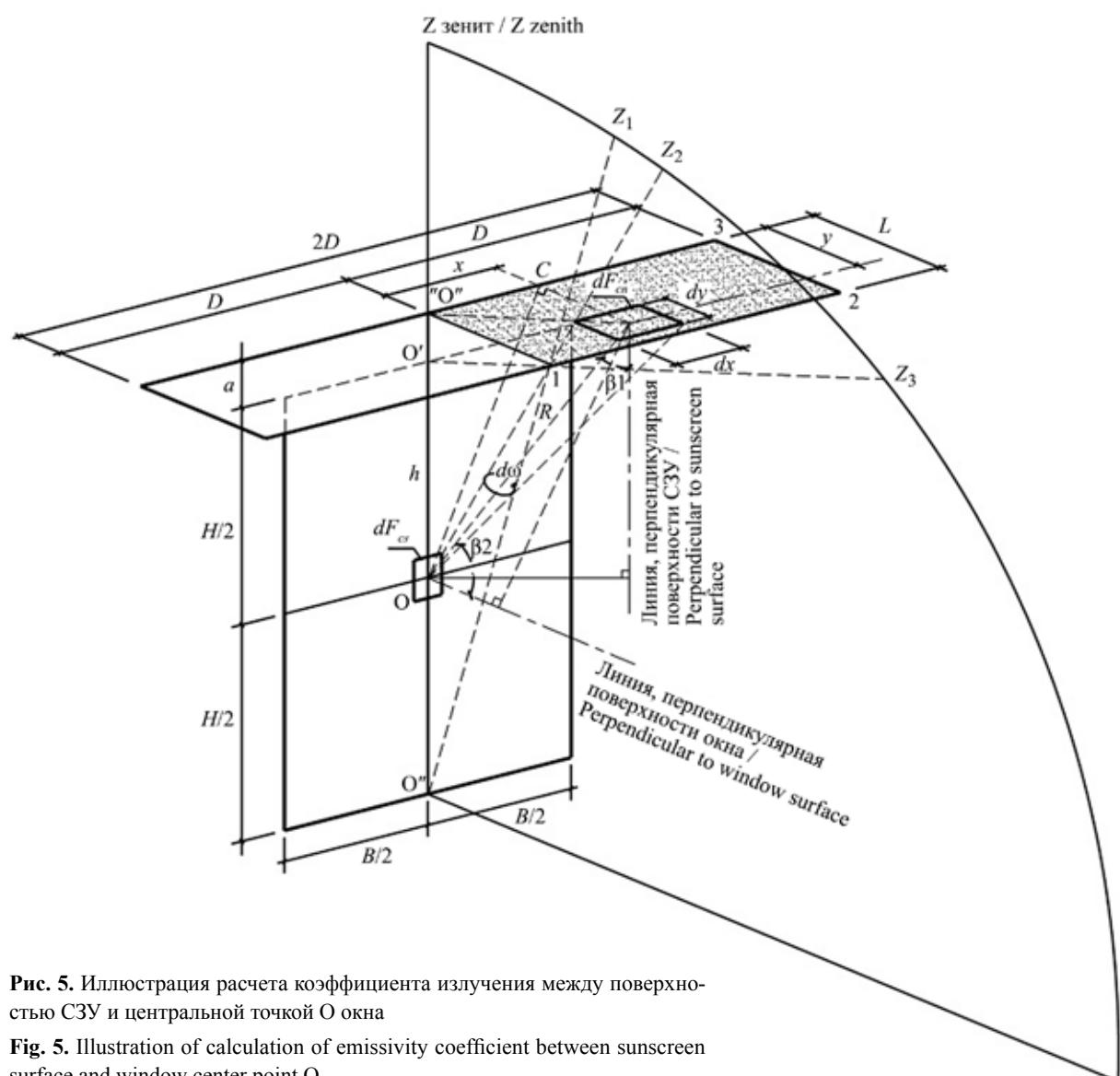


Рис. 5. Иллюстрация расчета коэффициента излучения между поверхностью СЗУ и центральной точкой О окна

Fig. 5. Illustration of calculation of emissivity coefficient between sunscreen surface and window center point O

2. Отражение света от СЗУ (козырька) учитывается коэффициентом  $K_{ref}$  и определяется по закону Ламберта [82–84]. Основная формула описывается:

$$dE = \frac{L \cdot dx \cdot dy \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta}{r^2}, \quad (4)$$

где  $L$  — яркость участка  $dS$ . Отраженную поверхность надо разбить на элементарные участки  $\Delta S = \Delta x \cdot \Delta y$  и просуммировать величину отраженного света от каждого из участков отраженной поверхности в каждую расчетную точку в центре аналогичных элементарных участков.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка влияния СЗУ на величину КЕО зависит от затенения и отражения света плоскостью козырька. Классическое значение КЕО чувствительно только для пасмурного неба МКО. При реальном небе новый метод предлагает оценить внутреннее ЕО по соотношению внутренней освещенности и наружной диффузной горизонтальной освещенности при воздействии прямого солнца. При этом ЕО в помещении принимает отражение суммарной освещенности от прилегающих поверхностей и СЗУ, которое значительно повышает ЕО в помещении.

### Коэффициент уменьшения ЕО за счет диффузной радиации в помещении при наличии СЗУ $K_{shad}$

Необходимо признать гипотезу: отражение ЕО от прилегающих поверхностей считается полным рассеянным отражением. Интенсивность диффузной освещенности от неба является линейной функцией с интенсивностью диффузного излучения от неба, формула (5) представляет это отношение [75].

$$K = 697,33 \frac{\int_{\lambda_1=380}^{\lambda_2=780} \Phi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\lambda_2=780} \Phi_e(\lambda) d\lambda}, \quad (5)$$

где  $K$  — световой эквивалент излучения или световая эффективность,  $\text{клк}/\text{Вт}\cdot\text{м}^2$  или  $\text{Лм}/\text{Вт}$ ; 697,33 — максимальная спектральная чувствительность зрения, которая возникает при 555 нм;  $\Phi_e(\lambda)$  — плотность потока на длине волны, нм;  $V(\lambda)$  — значение функции спектральной световой эффективности для длины волны  $\lambda$ .

Согласно линейным отношениям между диффузной освещенностью и диффузным излучением, коэффициент, учитывающий уменьшения диффузной освещенности в помещении при наличии СЗУ равно коэффициенту, учитывающему уменьшения диффузного излучения от солнца при наличии СЗУ  $K_{shad}$ , который определяется по формуле (3).

### Коэффициента повышения ЕО за счет отраженного света от разных поверхностей СЗУ $K_{ref}$

Отраженная освещенность от горизонтального СЗУ (козырька)  $K_{ref}$  характеризуется процессом отражения света от земли или от другой прилегающей отражающей поверхности на нижнюю поверхность горизонтального СЗУ и от поверхности СЗУ на точку  $O$  в центре окна. Этот процесс характерен отражениями между перпендикулярными и параллельными плоскостями. При наличии горизонтального СЗУ отраженная освещенность на точку  $O$  выражается в два этапа.

Первый этап — отражение от первой отражающей поверхности на горизонтальное СЗУ, отличается отражением между двумя параллельными плоскостями.

Второй этап — отражение от горизонтального СЗУ на окна характеризуется отражением между двумя перпендикулярными плоскостями.

$$K_{ref} = 1 + \frac{E_G}{E_D} \times \times \frac{\frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot [F(D) - F(0)] \cdot [F(l-b) - F(-b)] + \frac{\rho_1}{\pi} [F(d) - F(0)]}{\frac{1}{2} \cdot K_{bt.ov}}}{\pi^2}; \quad (6)$$

$$F(x) = \frac{d}{\sqrt{h_1^2 + d^2}} \operatorname{arctg} \left( \frac{x}{\sqrt{h_1^2 + d^2}} \right) + \frac{x}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} \operatorname{arctg} \left( \frac{d}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} \right); \quad (7)$$

$$F(y) = \operatorname{arctg} \left( \frac{y}{h_2} \right) - \frac{h_2}{\sqrt{h_2^2 + L^2}} \operatorname{arctg} \left( \frac{y}{\sqrt{h_2^2 + L^2}} \right); \quad (8)$$

$$F(y) = \operatorname{arctg} \left( \frac{y}{h_3} \right) - \frac{h_3}{\sqrt{h_3^2 + l^2}} \operatorname{arctg} \left( \frac{y}{\sqrt{h_3^2 + l^2}} \right), \quad (9)$$

где  $[F(l-b) - F(-b)]$  определяется по формуле (7);  $[F(D) - F(0)]$  — по формуле (8);  $[F(d) - F(0)]$  — по формуле (9);  $E_G$ ,  $E_D$  — соответственно суммарная и диффузная горизонтальная освещенность, лк;  $h$ ,  $D$ ,  $L$  — параметры систем ЕО соответственно расстояние от точки  $O$  до поверхности СЗУ, 1/2 длины козырька, выступ козырька от поверхности окна (см. рис. 5), м.

Усовершенствованная формула имеет вид:

$$\text{УКЕО} = K_{shad} \cdot K_{ref} \times \times \left( \sum_{i=1}^L \varepsilon_{oi} q_i + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{bldj} b_{fj} \cdot k_{bldj} \right) \cdot r_0 \cdot \tau_0 \cdot MF. \quad (10)$$

*Примечание:* УКЕО — новый показатель оценки ЕО при реальных состояниях облачности.

Таким образом, при пасмурном небе МКО данная формула показывает, что основное влияние имеет затенение  $K_{shad}$ , хотя при высокой яркости промежуточного неба отражающая величина  $K_{ref}$  может иметь также большое значение. При наличии солнца при реальном статическом небосводе СЗУ может значительно увеличить освещенность в помещении.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исследовании обобщены существующие проблемы при расчете и оценке ЕО. Все имеющиеся теории нацелены на оценку ЕО при статическом условии стандартного облачного неба МКО. Такое состояние неба очень трудно идентифицировать. Оно не типично и затрудняет сравнение анализа с фактическими результатами измерений.

Исследование предлагает методику оценки ЕО в динамическом направлении. При этом применено светоклиматическое моделирование, которое пред-

лагает использовать климатические данные определенной местности для оценки ЕО. Влияние систем ЕО с горизонтальными СЗУ рассматривается конкретно с их параметрами. При этом задачи определения коэффициентов затенения прямой диффузной освещенности от неба и отражения света от СЗУ предлагаются решать с помощью коэффициентов  $K_{shad}$  и  $K_{ref}$ . Новая концепция отражает оценку ЕО в помещении при условии промежуточного неба.

Предлагаемая методика позволяет проводить расчет ЕО в жарких и тропических регионах, где архитектура и ограждающие конструкции характерны светопропусканием с СЗУ, т.е. самыми эффективными элементами для блокирования прямых солнечных лучей, которые уменьшают тепловую нагрузку в помещении и повышают визуальный комфорт.

Дальнейшие исследования должны быть посвящены определению значений  $K_{shad}$  и  $K_{ref}$  для различных типов СЗУ и конкретных параметров помещений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Tomczuk P. Prace naukowe. Transport. Modelowanie, badania eksperimentalne i ocena jakości oświetlenia sylwetki pieszego na przejściu dla pieszych. Warszawa : Oficyna wydaw. Politech. Warszawskiej, 2013. 185 p.
2. Kittler R., Kocifaj M., Darula S. Simulation of seasonal variations in the local daylight climate // Daylight Science and Daylighting Technology. 2011. Pp. 155–186. DOI: 10.1007/978-1-4419-8816-4\_6
3. Kittler R. Daylight prediction and assessment: theory and design practice // Architectural Science Review. 2007. Vol. 50. Issue 2. Pp. 94–99. DOI: 10.3763/asre.2007.5014
4. Tregenza P., Wilson M. Daylighting: architecture and lighting design. London : Routledge, 2013. Pp. 59–77. DOI: 10.4324/9780203724613
5. Amirifard F., Sharif S.A., Nasiri F. Application of passive measures for energy conservation in buildings — a review // Advances in Building Energy Research. 2019. Vol. 13. Issue 2. Pp. 282–315. DOI: 10.1080/17512549.2018.1488617
6. Lou S., Li D.H.W., Lam J.C., Lee E.W.M. Estimation of obstructed vertical solar irradiation under the 15 CIE Standard Skies // Building and Environment. 2016. Vol. 103. Pp. 123–133. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.04.005
7. Boyce P.R. Human factors in lighting. Boca Raton : CRC Press, 2014. 703 p. DOI: 10.1201/b16707
8. Tregenza P., Mardaljevic J. Daylighting buildings: Standards and the needs of the designer // Lighting Research & Technology. 2018. Vol. 50. Issue 1. Pp. 63–79. DOI: 10.1177/1477153517740611
9. Budak V.P., Smirnov P.A. A physical model of the firmament to calculate daylight // Light and Engineering. 2013. Vol. 21. Issue 3. Pp. 17–23.
10. Mirrahimi S., Mohamed M.F., Haw L.C., Ibrahim N.L.N., Yusoff W.F.M., Aflaki A. The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot-humid climate // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 53. Pp. 1508–1519. DOI: 10.1016/j.rser.2015.09.055
11. Al-Tamimi N.A., Fadzil S.F.S. The potential of shading devices for temperature reduction in high-rise residential buildings in the tropics // Procedia Engineering. 2011. Vol. 21. Pp. 273–282. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.2015
12. Kirimtac A., Koyunbaba B.K., Chatzikonstantinou I., Sarayildiz S. Review of simulation modeling for shading devices in buildings // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 53. Pp. 23–49. DOI: 10.1016/j.rser.2015.08.020
13. Abdullah F.H., Majid N.H.A., Othman R. Defining issue of thermal comfort control through urban mosque facade design // Procedia — Social and Behavioral Sciences. 2016. Vol. 234. Pp. 416–423. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.10.259
14. Cheong K.H., Teo Y.H., Koh J.M., Acharya U.R., Yu S.C.M. A simulation-aided approach in improving thermal-visual comfort and power efficiency in buildings // Journal of Building Engineering. 2020. Vol. 27. P. 100936. DOI: 10.1016/j.jobe.2019.100936

15. Mettanant V., Chaiwiwatworakul P. Automated vertical blinds for daylighting in tropical region // Energy Procedia. 2014. Vol. 52. Pp. 278–286. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.07.079
16. Lim Y.-W., Heng C.Y.S. Dynamic internal light shelf for tropical daylighting in high-rise office buildings // Building and Environment. 2016. Vol. 106. Pp. 155–166. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.06.030
17. Lee H., Kim K., Seo J., Kim Y. Effectiveness of a perforated light shelf for energy saving // Energy and Buildings. 2017. Vol. 144. Pp. 144–151. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.03.008
18. Al-Masrani S.M., Al-Obaidi K.M., Zalin N.A., Isma M.I.A. Design optimisation of solar shading systems for tropical office buildings: Challenges and future trends // Solar Energy. 2018. Vol. 170. Pp. 849–872. DOI: 10.1016/j.solener.2018.04.047
19. Ibrahim N.L.N., Hayman S. Latitude variation and its influence on rules of thumb in daylighting // Architectural Science Review. 2010. Vol. 53. Issue 4. Pp. 408–414. DOI: 10.1080/00038628.2010.9685341
20. Darula S., Christoffersen J., Malikova M. Sunlight and insolation of building interiors // Energy Procedia. 2015. Vol. 78. Pp. 1245–1250. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.11.266
21. Valíček P., Novák T., Vaňuš J., Sokanský K., Martinek R. Illuminance evaluation in automatically dimmed interior lighting systems // 2016 IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4). 2016. 5 p. DOI: 10.1109/LUMENV.2016.7745513
22. Nabil A., Mardaljevic J. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings // Lighting Research & Technology. 2005. Vol. 37. Issue 1. Pp. 41–57. DOI: 10.1191/1365782805li128oa
23. Sokół N., Martyniuk-Pęczek J. Daylight recommendation for building interiors in the selected national building and lighting regulations in the EU // XXVI Krajowa Konferencja Oświetleniowa Technika Świetlna 2017. 2017. Pp. 175–191.
24. Darula S. Review of the current state and future development in standardizing natural lighting in interiors // Light & Engineering. 2018. Vol. 26. Issue 4. Pp. 5–26.
25. Vajkay F., Zizka L. Assessment of daylighting design tools against test cases included in CIE's 171:2006 Report // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 899. Pp. 352–355. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.899.352
26. Li G.-Z., Wang Q.-Q., Wang J.-L. Chinese standard requirements on indoor environmental quality for assessment of energy-efficient buildings // Indoor and Built Environment. 2014. Vol. 23. Issue 2. Pp. 194–200. DOI: 10.1177/1420326X13507793
27. Mardaljevic J., Roy N. The sunlight beam index // Lighting Research & Technology. 2016. Vol. 48. Issue 1. Pp. 55–69. DOI: 10.1177/1477153515621486
28. Lee J., Boubekri M., Liang F. Impact of building design parameters on daylighting metrics using an analysis, prediction, and optimization approach based on statistical learning technique // Sustainability. 2019. Vol. 11. Issue 5. P. 1474. DOI: 10.3390/su11051474
29. Juslén H., Tenner A. Mechanisms involved in enhancing human performance by changing the lighting in the industrial workplace // International Journal of Industrial Ergonomics. 2005. Vol. 35. Issue 9. Pp. 843–855. DOI: 10.1016/j.ergon.2005.03.002
30. Boubekri M. Daylighting, architecture and health: building design strategies. London : Routledge, 2008. 160 p. DOI: 10.4324/9780080940717
31. Mardaljevic J., Christoffersen J., Raynham P. A proposal for a European standard for daylight in buildings // Lux Europa 2013: 12th European Lighting Conference. 2013. Pp. 237–250.
32. Darula S., Maliková M. New European standard criteria for daylight assessment // Proc. Conf. Lighting Engineering 2015. 2015. Pp. 69–74.
33. Darula S. Hodnotenie denného svetla v Európe (Evaluation of daylight in Europe) // Světlo. 2018. Vol. 21. Issue 2. Pp. 40–42.
34. Sokol N., Martyniuk-Pęczek J. The review of the selected challenges for an incorporation of daylight assessment methods into urban planning in Poland // Procedia Engineering. 2016. Vol. 161. Pp. 2191–2197. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.814
35. Deroisy B., Deneyer A. A new standard for daylight: towards a daylight revolution? // Lighting for modern society: proceedings of the Lux Europa 2017. 2017. Pp. 340–343.
36. Marjaba G.E., Chidiac S.E. Sustainability and resiliency metrics for buildings — Critical review // Building and Environment. 2016. Vol. 101. Pp. 116–125. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.03.002
37. Heschong L., Wymelenberg V.D., Andersen M., Digert N., Fernandes L., Keller A. et al. Approved method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). New York : IES — Illuminating Engineering Society, 2012. 14 p.
38. Reinhart C.F., Weissman D.A. The daylit area — Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics // Building and Environment. 2012. Vol. 50. Pp. 155–164. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.10.024
39. Mardaljevic J., Heschong L., Lee E. Daylight metrics and energy savings // Lighting Research & Technology. 2009. Vol. 41. Issue 3. Pp. 261–283. DOI: 10.1177/1477153509339703
40. Reinhart C.F., Mardaljevic J., Rogers Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design // Leukos. 2006. Vol. 3. Issue 1. Pp. 7–31. DOI: 10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001
41. Reinhard E., Heidrich W., Debevec P., Patanaik S., Ward G., Myszkowski K. High dynamic range

- imaging: acquisition, display, and image-based lighting. Morgan Kaufmann, 2010. 672 p.
42. Jakubiec J.A., Reinhart C.F. The ‘adaptive zone’ — A concept for assessing discomfort glare throughout daylit spaces // Lighting Research & Technology. 2012. Vol. 44. Issue 2. Pp. 149–170. DOI: 10.1177/1477153511420097
43. Iringová A. Impact of external shading on light comfort and energy efficiency in apartment buildings // Applied Mechanics and Materials. 2017. Vol. 861. Pp. 485–492. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.861.485
44. Nabil A., Mardaljevic J. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors // Energy and Buildings. 2006. Vol. 38. Issue 7. Pp. 905–913. DOI: 10.1016/j.enbuild.2006.03.013
45. Lindelöf D., Morel N. Bayesian estimation of visual discomfort // Building Research & Information. 2008. Vol. 36. Issue 1. Pp. 83–96. DOI: 10.1080/09613210701544061
46. Souza D.F., Scarazzato P.S., Pedrini H. Classifying skies from images: A multidimensional approach to detecting high dynamic range imaging attributes // Lighting Research & Technology. 2016. Vol. 48. Issue 5. Pp. 559–572. DOI: 10.1177/1477153516637231
47. Manzan M., Clarich A. FAST energy and daylight optimization of an office with fixed and movable shading devices // Building and Environment. 2017. Vol. 113. Pp. 175–184. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.09.035
48. Mardaljevic J. Verification of program accuracy for illuminance modelling: assumptions, methodology and an examination of conflicting findings // Lighting Research & Technology. 2004. Vol. 36. Issue 3. Pp. 217–239. DOI: 10.1191/1477153504li120oa
49. Mardaljevic J. Validation of a lighting simulation program under real sky conditions // International Journal of Lighting Research and Technology. 1995. Vol. 27. Issue 4. Pp. 181–188. DOI: 10.1177/14771535950270040701
50. Li D.H.W., Lau C.C.S., Lam J.C. Predicting daylight illuminance by computer simulation techniques // Lighting Research & Technology. 2004. Vol. 36. Issue 2. Pp. 113–128. DOI: 10.1191/1365782804li108oa
51. Michael A., Heracleous C. Assessment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe: The case of typical educational school premises in Cyprus // Energy and Buildings. 2017. Vol. 140. Pp. 443–457. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.12.087
52. № US 9,078,299 B2. Predictive daylight harvesting system / I. Ashdown; Suntracker technologies ltd. Appl.: No. 13/446,577, 13.04.2012. Publ. 07.07.2015.
53. Keller A., Wächter C., Raab M., Seibert D., van Antwerpen D., Korndörfer J. et al. The iray light transport simulation and rendering system // SIGGRAPH ‘17: ACM SIGGRAPH 2017 Talks. 2017. P. 34. DOI: 10.1145/3084363.3085050
54. Sun Y., Wu Y., Wilson R. Analysis of the daylight performance of a glazing system with Parallel Slat Transparent Insulation Material (PS-TIM) // Energy and Buildings. 2017. Vol. 139. Pp. 616–633. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.01.001
55. Ritschel T., Dachsbaecher C., Gorsch T., Kautz J. The state of the art in interactive global illumination // Computer Graphics Forum. 2012. Vol. 31. Issue 1. Pp. 160–188. DOI: 10.1111/j.1467-8659.2012.02093.x
56. Vera S., Uribe D., Bustamante W., Molina G. Optimization of a fixed exterior complex fenestration system considering visual comfort and energy performance criteria // Building and Environment. 2017. Vol. 113. Pp. 163–174. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.07.027
57. Wu Y., Kämpf J.H., Scartezzini J.-L. Characterization of a quasi-real-time lighting computing system based on HDR imaging // Energy Procedia. 2017. Vol. 122. Pp. 649–654. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.07.364
58. Mardaljevic J. Sky model blends for predicting internal illuminance: a comparison founded on the BRE-IDMP dataset // Journal of Building Performance Simulation. 2008. Vol. 1. Issue 3. Pp. 163–173. DOI: 10.1080/19401490802419836
59. Crawley D.B., Lawrie L.K., Winkelmann F.C., Buhl W.F., Huang Y.J., Pedersen C.O. et al. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program // Energy and buildings. 2001. Vol. 33. Issue 4. Pp. 319–331. DOI: 10.1016/S0378-7788(00)00114-6
60. Zhang L. Simulation analysis of built environment based on design builder software // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 580–583. Pp. 3134–3137. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.580–583.3134
61. Bustamante W., Uribe D., Vera S., Molina G. An integrated thermal and lighting simulation tool to support the design process of complex fenestration systems for office buildings // Applied Energy. 2017. Vol. 198. Pp. 36–48. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.04.046
62. Lydon G.P., Hofer J., Svetozarevic B., Nagy Z., Schlueter A. Coupling energy systems with lightweight structures for a net plus energy building // Applied Energy. 2017. Vol. 189. Pp. 310–326. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.11.110
63. Gentile N., Dubois M.-C. Field data and simulations to estimate the role of standby energy use of lighting control systems in individual offices // Energy and Buildings. 2017. Vol. 155. Pp. 390–403. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.09.028
64. Chen Y., Liang X., Hong T., Luo X. Simulation and visualization of energy-related occupant behavior

- in office buildings // Building Simulation. 2017. Vol. 10. Issue 6. Pp 785–798. DOI: 10.1007/s12273-017-0355-2
65. Khoroshiltseva M., Slanzi D., Poli I. A Pareto-based multi-objective optimization algorithm to design energy-efficient shading devices // Applied Energy. 2016. Vol. 184. Pp. 1400–1410. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.05.015
66. Konstantoglou M., Tsangrassoulis A. Dynamic operation of daylighting and shading systems: A literature review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 60. Pp. 268–283. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.246
67. Hoffmann S., Lee E.S., McNeil A., Fernandes L., Vidanovic D., Thanachareonkit A. Balancing daylight, glare, and energy-efficiency goals: An evaluation of exterior coplanar shading systems using complex fenestration modeling tools // Energy and Buildings. 2016. Vol. 112. Pp. 279–298. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.12.009
68. Perez R., Seals R., Michalsky J. All-weather model for sky luminance distribution — Preliminary configuration and validation // Solar energy. 1993. Vol. 50. Issue 3. Pp. 235–245. DOI: 10.1016/0038-092X(93)90017-I
69. Kittler R., Darula S. The simultaneous occurrence and relationship of sunlight and skylight under ISO/CIE standard sky types // Lighting Research & Technology. 2015. Vol. 47. Issue 5. Pp. 565–580. DOI: 10.1177/1477153514538883
70. Kittler R., Darula S. The natural redistribution of sunlight and skylight due to the atmospheric turbidity of cloudless skies // Leukos. 2018. Vol. 14. Issue 2. Pp. 87–93. DOI: 10.1080/15502724.2017.1391704
71. Nguyen T.K.P., Solovyov A., Pham T.H.H., Dong K.H. Confirmed method for definition of daylight climate for tropical Hanoi // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. 2018. Vol. 982. Pp. 35–47. DOI: 10.1007/978-3-030-19756-8\_4
72. Фыонг Н.Т.Х., Соловьев А.К., Тамразян А.Г. Комплексный подход к определению размеров светопропусков в зданиях с учетом требований безопасности // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 5. С. 20–25. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.05.20-25
73. Hens S.L.C.H. Building physics — heat, air and moisture: fundamentals and engineering methods with examples and exercises. Wilhelm Ernst & Sohn, 2017. 309 p. DOI: 10.1002/9783433608548
74. Nasrollahi N., Shokri E. Daylight illuminance in urban environments for visual comfort and energy performance // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 66. Pp. 861–874. DOI: 10.1016/j.rser.2016.08.052
75. Wittkopf S.K., Soon L.K. Analysing sky luminance scans and predicting frequent sky patterns in Singapore // Lighting Research & Technology. 2007. Vol. 39. Issue 1. Pp. 31–51. DOI: 10.1177/1365782806070683
76. Kittler R., Darula S. Determination of time and sun position system // Solar Energy. 2013. Vol. 93. Pp. 72–79. DOI: 10.1016/j.solener.2013.03.021
77. Krasić S., Pejić P., Mitković P. Significance of daylight in the design and construction of buildings // GRAĐEVINAR. 2013. Vol. 65. Issue 9. Pp. 833–840. DOI: 10.14256/JCE.869.2013
78. Solovyov A.K. Luminance distribution over the firmament: Taking it into account when designing natural illumination for building // Light & Engineering. 2009. Vol. 17. Issue 1. Pp. 59–73.
79. Соловьев А.К. Учет распределения яркости безоблачного неба в расчетах естественного освещения зданий // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 462–471.
80. Zemtsov V.A., Solovyov A.K., Shmarov I.A. Luminance parameters of the standard CIE sky within natural room illumination calculations and their application under various light climate conditions in Russia // Light & Engineering. 2017. Vol. 25. Issue 1. Pp. 106–114.
81. Phuong N.T.K. Luminance distributions in the tropical sky conditions // Magazine of Civil Engineering. 2018. Vol. 84. Issue 8. Pp. 192–204. DOI: 10.18720/MCE.84.18
82. Phuong N.T.K., Solovyov A., Hoa N.T. Phương pháp xác định hệ số phân bố không đồng đều độ chói cho bầu trời nhiệt đới Việt Nam // Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNxD) — ĐHXD. 2019. Vol. 13. Issue 3V. Pp. 136–147. DOI: 10.31814/stcencue2019-13(3V)-15
83. Фам Нгок Данг. Тепловой режим здания в климатических условиях Вьетнама : дис. ... д-ра техн. наук. М., 1978. 191 с.
84. Фам Нгок Данг, Богословский В.Н. Расчет суммарного теплопоступления в помещение через окно // Водоснабжение и санитарная техника. 1973. № 1. С. 26–32.
85. Ha P.T.H. Passive architectural solution based on energy efficiency method of sunshading devices for high-rise apartment buildings in Hanoi : thesis of Ph. D. Hanoi. National university of Civil Engineering, 2018. 151 p.
86. Ha P.T.H. Energy efficiency facade design in high-rise apartment buildings using the calculation of solar heat transfer through windows with shading devices // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 143. P. 012055. DOI: 10.1088/1755-1315/143/1/012055
87. Ha P.T.H. A concept for energy-efficient high-rise buildings in Hanoi and a calculation method for building energy efficiency factor // Procedia Engineering. 2016. Vol. 142. Pp. 154–160. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.02.026
88. Dang P.N., Ha P.H. Heat and architectural climatics. Hanoi : Construction Publisher, 2002.

Поступила в редакцию 27 июля 2019 г.

Принята в доработанном виде 5 ноября 2019 г.

Одобрена для публикации 31 января 2020 г.

**О Б А В Т О РАХ:** Нгуен Тхи Хань Фыонг — аспирант кафедры проектирования зданий и сооружений; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; agpz@mgsu.ru;

Алексей Кириллович Соловьев — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования зданий и сооружений; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SolovevAK@gic.mgsu.ru.

## REFERENCES

1. Tomczuk P. *Prace naukowe. Transport. Modelowanie, badania eksperymentalne i ocena jakości oświetlenia sylwetki pieszego na przejściu dla pieszych*. Warszawa, Oficyna wydaw. Politech. Warszawskiej, 2013; 185. (pol.).
2. Kittler R., Kocifaj M., Darula S. Simulation of seasonal variations in the local daylight climate. *Daylight Science and Daylighting Technology*. 2011; 155–186. DOI: 10.1007/978-1-4419-8816-4\_6
3. Kittler R. Daylight prediction and assessment: theory and design practice. *Architectural Science Review*. 2007; 50(2):94-99. DOI: 10.3763/asre.2007.5014
4. Tregenza P., Wilson M. *Daylighting: Architecture and Lighting Design*. London, Routledge, 2013; 59-77. DOI: 10.4324/9780203724613
5. Amirifard F., Sharif S.A., Nasiri F. Application of passive measures for energy conservation in buildings — a review. *Advances in Building Energy Research*. 2019; 13(2):282-315. DOI: 10.1080/17512549.2018.1488617
6. Lou S., Li D.H.W., Lam J.C., Lee E.W.M. Estimation of obstructed vertical solar irradiation under the 15 CIE Standard Skies. *Building and Environment*. 2016; 103:123-133. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.04.005
7. Boyce P.R. *Human factors in lighting*. Boca Raton, CRC Press, 2014; 703. DOI: 10.1201/b16707
8. Tregenza P., Mardaljevic J. Daylighting buildings: Standards and the needs of the designer. *Lighting Research & Technology*. 2018; 50(1):63-79. DOI: 10.1177/1477153517740611
9. Budak V.P., Smirnov P.A. A physical model of the firmament to calculate daylight. *Light and Engineering*. 2013; 21(3):17-23.
10. Mirrahimi S., Mohamed M.F., Haw L.C., Ibrahim N.L.N., Yusoff W.F.M., Aflaki A. The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot-humid climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016; 53:1508-1519. DOI: 10.1016/j.rser.2015.09.055
11. Al-Tamimi N.A., Fadzil S.F.S. The potential of shading devices for temperature reduction in high-rise residential buildings in the tropics. *Procedia Engineering*. 2011; 21:273-282. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.2015
12. Kirimtac A., Koyunbaba B.K., Chatzikonstantinou I., Sarayildiz S. Review of simulation modeling for shading devices in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016; 53:23-49. DOI: 10.1016/j.rser.2015.08.020
13. Abdullah F.H., Majid N.H.A., Othman R. Defining issue of thermal comfort control through urban mosque façade design. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. 2016; 234:416-423. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.10.259
14. Cheong K.H., Teo Y.H., Koh J.M., Acharya U.R., Yu S.C.M. A simulation-aided approach in improving thermal-visual comfort and power efficiency in buildings. *Journal of Building Engineering*. 2020; 27:100936. DOI: 10.1016/j.jobe.2019.100936
15. Mettanant V., Chaiwiwatworakul P. Automated vertical blinds for daylighting in tropical region. *Energy Procedia*. 2014; 52:278-286. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.07.079
16. Lim Y.-W., Heng C.Y.S. Dynamic internal light shelf for tropical daylighting in high-rise office buildings. *Building and Environment*. 2016; 106:155-166. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.06.030
17. Lee H., Kim K., Seo J., Kim Y. Effectiveness of a perforated light shelf for energy saving. *Energy and Buildings*. 2017; 144:144-151. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.03.008
18. Al-Masrani S.M., Al-Obaidi K.M., Zalin N.A., Isma M.I.A. Design optimisation of solar shading systems for tropical office buildings: Challenges and future trends. *Solar Energy*. 2018; 170:849-872. DOI: 10.1016/j.solener.2018.04.047
19. Ibrahim N.L.N., Hayman S. Latitude variation and its influence on rules of thumb in daylighting. *Architectural Science Review*. 2010; 53(4):408-414. DOI: 10.1080/00038628.2010.9685341
20. Darula S., Christoffersen J., Malikova M. Sunlight and insulation of building interiors. *Energy*

- Procedia.* 2015; 78:1245-1250. DOI: 10.1016/j.egy-pro.2015.11.266
21. Valíček P., Novák T., Vaňuš J., Sokanský K., Martinek R. Illuminance evaluation in automatically dimmed interior lighting systems. *2016 IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4)*. 2016; 5. DOI: 10.1109/LUMENV.2016.7745513
  22. Nabil A., Mardaljevic J. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research & Technology*. 2005; 37(1):41-57. DOI: 10.1191/1365782805li128oa
  23. Sokół N., Martyniuk-Pęczek J. Daylight recommendation for building interiors in the selected national building and lighting regulations in the EU. *XXVI Krajowa Konferencja Oświetleniowa Technika Świetlna 2017*. 2017; 175-191.
  24. Darula S. Review of the current state and future development in standardizing natural lighting in interiors. *Light & Engineering*. 2018; 26(4):5-26.
  25. Vajkay F., Zizka L. Assessment of daylighting design tools against test cases included in CIE's 171:2006 Report. *Advanced Materials Research*. 2014; 899:352-355. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.899.352
  26. Li G.-Z., Wang Q.-Q., Wang J.-L. Chinese standard requirements on indoor environmental quality for assessment of energy-efficient buildings. *Indoor and Built Environment*. 2014; 23(2):194-200. DOI: 10.1177/1420326X13507793
  27. Mardaljevic J., Roy N. The sunlight beam index. *Lighting Research & Technology*. 2016; 48(1):55-69. DOI: 10.1177/1477153515621486
  28. Lee J., Boubekri M., Liang F. Impact of building design parameters on daylighting metrics using an analysis, prediction, and optimization approach based on statistical learning technique. *Sustainability*. 2019; 11(5):1474. DOI: 10.3390/su11051474
  29. Juslén H., Tenner A. Mechanisms involved in enhancing human performance by changing the lighting in the industrial workplace. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2005; 35(9):843-855. DOI: 10.1016/j.ergon.2005.03.002
  30. Boubekri M. *Daylighting, architecture and health: Building design strategies*. London, Routledge, 2008; 160. DOI: 10.4324/9780080940717
  31. Mardaljevic J., Christoffersen J., Raynham P. A proposal for a European standard for daylight in buildings. *Lux Europa 2013: 12th European Lighting Conference*. 2013; 237-250.
  32. Darula S., Maliková M. New European standard criteria for daylight assessment. *Proc. Conf. Lighting Engineering 2015*. 2015; 69-74.
  33. Darula S. Hodnotenie denného svetla v Európe (Evaluation of daylight in Europe). *Svetlo*. 2018; 21(2):40-42. (slk.).
  34. Sokol N., Martyniuk-Pęczek J. The review of the selected challenges for an incorporation of daylight assessment methods into urban planning in Poland. *Procedia Engineering*. 2016; 161:2191-2197. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.814
  35. Deroisy B., Deneyer A. A new standard for daylight: Towards a daylight revolution? *Lighting for modern society: proceedings of the Lux Europa 2017*. 2017; 340-343.
  36. Marjaba G.E., Chidiac S.E. Sustainability and resiliency metrics for buildings — Critical review. *Building and Environment*. 2016; 101:116-125. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.03.002
  37. Heschong L., Wymelenberg V.D., Andersen M., Digert N., Fernandes L., Keller A. et al. *Approved method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*. New York, IES — Illuminating Engineering Society, 2012; 14.
  38. Reinhart C.F., Weissman D.A. The daylit area — Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics. *Building and Environment*. 2012; 50:155-164. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.10.024
  39. Mardaljevic J., Heschong L., Lee E. Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research & Technology*. 2009; 41(3):261-283. DOI: 10.1177/1477153509339703
  40. Reinhart C.F., Mardaljevic J., Rogers Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *Leukos*. 2006; 3(1):7-31. DOI: 10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001
  41. Reinhard E., Heidrich W., Debevec P., Pattanaik S., Ward G., Myszkowski K. *High dynamic range imaging: Acquisition, display, and image-based lighting*. Morgan Kaufmann, 2010; 672.
  42. Jakubiec J.A., Reinhart C.F. The ‘adaptive zone’ — A concept for assessing discomfort glare throughout daylit spaces. *Lighting Research & Technology*. 2012; 44(2):149-170. DOI: 10.1177/1477153511420097
  43. Iringová A. Impact of external shading on light comfort and energy efficiency in apartment buildings. *Applied Mechanics and Materials*. 2017; 861:485-492. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.861.485
  44. Nabil A., Mardaljevic J. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*. 2006; 38(7):905-913. DOI: 10.1016/j.enbuild.2006.03.013
  45. Lindelöf D., Morel N. Bayesian estimation of visual discomfort. *Building Research & Information*. 2008; 36(1):83-96. DOI: 10.1080/09613210701544061
  46. Souza D.F., Scarazzato P.S., Pedrini H. Classifying skies from images: A multidimensional approach to detecting high dynamic range imaging attributes. *Lighting Research & Technology*. 2016; 48(5):559-572. DOI: 10.1177/1477153516637231
  47. Manzan M., Clarich A. FAST energy and daylight optimization of an office with fixed and mov-

- able shading devices. *Building and Environment*. 2017; 113:175-184. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.09.035
48. Mardaljevic J. Verification of program accuracy for illuminance modelling: assumptions, methodology and an examination of conflicting findings. *Lighting Research & Technology*. 2004; 36(3):217-239. DOI: 10.1191/1477153504li120oa
49. Mardaljevic J. Validation of a lighting simulation program under real sky conditions. *International Journal of Lighting Research and Technology*. 1995; 27(4):181-188. DOI: 10.1177/14771535950270040701
50. Li D.H.W., Lau C.C.S., Lam J.C. Predicting daylight illuminance by computer simulation techniques. *Lighting Research & Technology*. 2004; 36(2):113-128. DOI: 10.1191/1365782804li108oa
51. Michael A., Heracleous C. Assessment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe: The case of typical educational school premises in Cyprus. *Energy and Buildings*. 2017; 140:443-457. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.12.087
52. United States Patent No. US 9,078,299 B2. Predictive daylight harvesting system / I. Ashdown; Suntracker technologies LTD. Appl. No. 13/446,577, 13.04.2012. Publ. 07.07.2015.
53. Keller A., Wächter C., Raab M., Seibert D., van Antwerpen D., Korndörfer J. et al. The iray light transport simulation and rendering system. *SIGGRAPH '17: ACM SIGGRAPH 2017 Talks*. 2017; 34. DOI: 10.1145/3084363.3085050
54. Sun Y., Wu Y., Wilson R. Analysis of the daylight performance of a glazing system with Parallel Slat Transparent Insulation Material (PS-TIM). *Energy and Buildings*. 2017; 139:616-633. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.01.001
55. Ritschel T., Dachsbaecher C., Grosch T., Kautz J. The state of the art in interactive global illumination. *Computer Graphics Forum*. 2012; 31(1):160-188. DOI: 10.1111/j.1467-8659.2012.02093.x
56. Vera S., Uribe D., Bustamante W., Molina G. Optimization of a fixed exterior complex fenestration system considering visual comfort and energy performance criteria. *Building and Environment*. 2017; 113:163-174. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.07.027
57. Wu Y., Kämpf J.H., Scartezzini J.-L. Characterization of a quasi-real-time lighting computing system based on HDR imaging. *Energy Procedia*. 2017; 122:649-654. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.07.364
58. Mardaljevic J. Sky model blends for predicting internal illuminance: a comparison founded on the BRE-IDMP dataset. *Journal of Building Performance Simulation*. 2008; 1(3):163-173. DOI: 10.1080/19401490802419836
59. Crawley D.B., Lawrie L.K., Winkelmann F.C., Buhl W.F., Huang Y.J., Pedersen C.O. et al. Energy-Plus: creating a new-generation building energy simula-
- tion program. *Energy and buildings*. 2001; 33(4):319-331. DOI: 10.1016/S0378-7788(00)00114-6
60. Zhang L. Simulation analysis of built environment based on design builder software. *Applied Mechanics and Materials*. 2014; 580-583:3134-3137. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.580-583.3134
61. Bustamante W., Uribe D., Vera S., Molina G. An integrated thermal and lighting simulation tool to support the design process of complex fenestration systems for office buildings. *Applied Energy*. 2017; 198:36-48. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.04.046
62. Lydon G.P., Hofer J., Svetozarevic B., Nagy Z., Schlueter A. Coupling energy systems with lightweight structures for a net plus energy building. *Applied Energy*. 2017; 189:310-326. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.11.110
63. Gentile N., Dubois M.-C. Field data and simulations to estimate the role of standby energy use of lighting control systems in individual offices. *Energy and Buildings*. 2017; 155:390-403. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.09.028
64. Chen Y., Liang X., Hong T., Luo X. Simulation and visualization of energy-related occupant behavior in office buildings. *Building Simulation*. 2017; 10(6):785-798. DOI: 10.1007/s12273-017-0355-2
65. Khoroshiltseva M., Slanzi D., Poli I. A Pareto-based multi-objective optimization algorithm to design energy-efficient shading devices. *Applied Energy*. 2016; 184:1400-1410. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.05.015
66. Konstantoglou M., Tsangrassoulis A. Dynamic operation of daylighting and shading systems: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016; 60:268-283. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.246
67. Hoffmann S., Lee E.S., McNeil A., Fernandes L., Vidanovic D., Thanachareonkit A. Balancing daylight, glare, and energy-efficiency goals: An evaluation of exterior coplanar shading systems using complex fenestration modeling tools. *Energy and Buildings*. 2016; 112:279-298. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.12.009
68. Perez R., Seals R., Michalsky J. All-weather model for sky luminance distribution — Preliminary configuration and validation. *Solar energy*. 1993; 50(3):235-245. DOI: 10.1016/0038-092X(93)90017-I
69. Kittler R., Darula S. The simultaneous occurrence and relationship of sunlight and skylight under ISO/CIE standard sky types. *Lighting Research & Technology*. 2015; 47(5):565-580. DOI: 10.1177/1477153514538883
70. Kittler R., Darula S. The natural redistribution of sunlight and skylight due to the atmospheric turbidity of cloudless skies. *Leukos*. 2018; 14(2):87-93. DOI: 10.1080/15502724.2017.1391704
71. Nguyen T.K.P., Solovyov A., Pham T.H.H., Dong K.H. Confirmed method for definition of daylight climate for tropical Hanoi. *International Scientific Con-*

- ference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. 2018; 982:35-47. DOI: 10.1007/978-3-030-19756-8\_4
72. Phuong N.T.K., Solovyev A.K., Tamrazyan A.G. Integrated approach to determining sizes of light openings in buildings taking into account safety requirements. *Industrial and Civil Engineering*. 2019; 5:20-25. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.05.20-25 (rus.).
73. Hens S.L.C.H. *Building physics — Heat, air and moisture: fundamentals and engineering methods with examples and exercises*. Wilhelm Ernst & Sohn, 2017; 309. DOI: 10.1002/9783433608548
74. Nasrollahi N., Shokri E. Daylight illuminance in urban environments for visual comfort and energy performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016; 66:861-874. DOI: 10.1016/j.rser.2016.08.052
75. Wittkopf S.K., Soon L.K. Analysing sky luminance scans and predicting frequent sky patterns in Singapore. *Lighting Research & Technology*. 2007; 39(1):31-51. DOI: 10.1177/1365782806070683
76. Kittler R., Darula S. Determination of time and sun position system. *Solar Energy*. 2013; 93:72-79. DOI: 10.1016/j.solener.2013.03.021
77. Krasić S., Pejić P., Mitković P. Significance of daylight in the design and construction of buildings. *GRADEVINAR*. 2013; 65(9):833-840. DOI: 10.14256/JCE.869.2013
78. Solovyev A.K. Luminance distribution over the firmament: Taking it into account when designing natural illumination for building. *Light & Engineering*. 2009; 17(1):59-73.
79. Solovyev A.K. The account of brightness distribution of a clear sky in calculations of natural illumination of buildings. *Academia. Architecture and Construction*. 2010; 3:462-471. (rus.).
80. Zemtsov V.A., Solovyov A.K., Shmarov I.A. Luminance parameters of the standard CIE sky within natural room illumination calculations and their application under various light climate conditions in Russia. *Light & Engineering*. 2017; 25(1):106-114.
81. Phuong N.T.K. Luminance distributions in the tropical sky conditions. *Magazine of Civil Engineering*. 2018; 84(8):192-204. DOI: 10.18720/MCE.84.18
82. Phuong N.T.K., Solovyov A., Hoa N.T. Phương pháp xác định hệ số phân bố không đồng đều độ chói cho bầu trời nhiệt đới Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) — ĐHXD*. 2019; 13(3V):136-147. DOI: 10.31814/stce.nuce2019-13(3V)-15 (vie.).
83. Pham Ngoc Dang. *The thermal regime of the building in the climatic conditions of Vietnam : diss. of Dr. tech. sciences*. Moscow, 1978; 191. (rus.).
84. Pham Ngoc Dang, Bogoslovskiy V.N. Calculation of the total heat input into the room through the window. *Water Supply and Sanitary Technique*. 1973; 1:26-32. (rus.).
85. Ha P.T.H. *Passive architectural solution based on energy efficiency method of sunshading devices for high-rise apartment buildings in Hanoi : Thesis of Ph. D*. Hanoi, National university of Civil Engineering, 2018; 151.
86. Ha P.T.H. Energy efficiency facade design in high-rise apartment buildings using the calculation of solar heat transfer through windows with shading devices. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018; 143:012055. DOI: 10.1088/1755-1315/143/1/012055
87. Ha P.T.H. A concept for energy-efficient high-rise buildings in hanoi and a calculation method for building energy efficiency factor. *Procedia Engineering*. 2016; 142:154-160. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.02.026
88. Dang P.N., Ha P.H. *Heat and architectural climatics*. Hanoi, Construction Publisher, 2002.

Received July 27, 2019.

Adopted in a revised form on November 5, 2019.

Approved for publication on January 31, 2020.

**BIONOTES:** **Nguyen Thi Khanh Phuong** — postgraduate student of the Department of Civil and Structural Design; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; agpz@mgsu.ru;

**Aleksey K. Solovyev** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Civil and Structural Design; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SolovevAK@gic.mgsu.ru.

# Предложение по реконструкции квартала, прилегающего к улицам Вардананц, Чаренц и Шагинян города Ереван

К.Р. Азатян, И.А. Мирзоян

Фонд «Национальный университет архитектуры и строительства Армении» (Фонд «НУАСА»);  
г. Ереван, Республика Армения

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Необходимость реконструкции кварталов центра г. Ереван обусловлена тем фактом, что предусмотренная генпланом 1924 г. периметральная застройка не была проведена полностью. Это привело к тому, что на протяжении десятилетий во дворах оставались подлежащие освоению многочисленные ветхие строения, которые со временем дополнились новыми элементами застройки. Поскольку процесс осуществлялся бесконтрольно, в результате сформировалась хаотичная, некомфортная, небезопасная и неэстетичная внутриквартальная среда, требующая безотлагательного градостроительного вмешательства. Таким примером является квартал, прилегающий к ул. Вардананц, Чаренц и Шагинян, проблемам реконструкции которого и посвящена данная работа. Цель исследования — обобщение полученных результатов проектного предложения, разработанного для реконструкции квартала, прилегающего к ул. Вардананц, Чаренц и Шагинян г. Ереван.

**Материалы и методы.** Работа выполнена с применением общенаучных методов теоретического исследования, систематизации, анализа, синтеза и обобщения материала.

**Результаты.** Рассмотрены следующие тематические разделы: исторический процесс развития застройки территории, исследование и анализ нынешнего состояния застройки, проектное предложение по реконструкции. Обобщен процесс развития территории в течение XIX–XXI вв., приведены исследования и проведен анализ современного состояния квартала, выявлены возникшие проблемы, продемонстрировано разработанное предложение по реконструкции. Определены пространственно-планировочные и функциональные характеристики квартала, технико-экономические показатели и экономические обоснования реализации проекта.

**Выходы.** Представлены проблемы, разрешаемые путем реализации предложения, социально-экономические и правовые возможности осуществления процесса, принципы выполнения экономических расчетов, получаемые изменения показателей застройки.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** застройка, среда, квартал, Ереван, центр, реконструкция, обновление, освоение

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Азатян К.Р., Мирзоян И.А. Предложение по реконструкции квартала прилегающего к улицам Вардананц, Чаренц и Шагинян города Ереван // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 201–211. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.201-211

## Proposal for the reconstruction of the quarter adjacent to the streets Vardanants, Charents, and Shahinyan of Yerevan city

Karen R. Azatyan, Inga A. Mirzoyan

National University of Architecture and Construction of Armenia Foundation (NUACA Foundation);  
Yerevan, Republic of Armenia

## ABSTRACT

**Introduction.** The need for reconstruction of the central quarters of the city of Yerevan is essential due to the incompleteness of the master plan for perimetral development (1924) implementation. It led to numerous dilapidated buildings liable to implementation remained in the courtyards for decades and, over time, were supplemented by new constructions. The process was uncontrolled and caused the formation of a chaotic, uncomfortable, unsafe, and unaesthetic intra-quarter environment that requires urgent urban planning solutions. A similar example is a quarter adjacent to Vardanants, Charents, and Shahinyan streets. This work is devoted to the reconstruction problems of this quarter. The research objective is to summarize the results of the project proposal developed for the reconstruction of the quarter adjacent to Vardanants, Charents, and Shahinyan streets of Yerevan city.

**Materials and methods.** The work was carried out on the base of the general scientific methods of theoretical research, systematization, analysis, synthesis, and generalization of the material.

**Results.** The work consists of the following thematic divisions: the historical process of the development of the territory, research and analysis of the current state of the development, project proposal for the reconstruction. The process of the development of the territory during the XIX–XXIst centuries is summarized. The study of quarter current situation and the analysis carried out on its basis are presented. The problems arisen are identified. The developed proposal for reconstruction

is presented. The spatial-planning and functional characteristics of the quarter, progress data indicators, and economic bases for the realization of the project are displayed.

**Conclusions.** The article presents the problems that can be solved with the proposal application, socio-economic, and legal possibilities of the process implementation, the principles of economic calculations, emerging changes in the development indicators.

**KEY WORDS:** construction, environment, quarter, Yerevan, center, reconstruction, renovation, settlement

**FOR CITATION:** Azatyan K.R., Mirzoyan I.A. Proposal for the reconstruction of the quarter adjacent to the streets Vardanants, Charents, and Shahinyan of Yerevan city. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(2):201-211. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.201-211 (rus.).

## **ВВЕДЕНИЕ**

Формирование архитектуры города — комплексная задача, связанная с различными требованиями времени (социальные условия, формы пространственной организации, технические возможности), где отражаются многочисленные функциональные, художественные, социальные и экономические факторы. Последние оказывают определенное влияние на отдельные элементы застройки города [1]. С другой стороны, время ставит свою печать на архитектуру города. Город как живой организм со временем преображается, лишается некоторых свойств и обретает новые. Меняется также застройка города. Прогресс общества периодически выдвигает новые требования к городской среде, которая никогда не достигает состояния завершенности, требуя новые решения. Таким образом, застройка города нуждается в постоянном обновлении, реконструкции и модернизации. По мнению Дж. Лоуренса, реконструкция — одно из главных направлений архитектуры современного мира. Это основное средство преобразования и упорядочения уже сформированной городской среды [2].

Необходимость реконструкции кварталов центра Еревана имеет свои причины. Они обусловлены тем, что застройка центра была проведена частично. Несмотря на то, что в ее основе был заложен генеральный план 1924 г. с организацией пространства по квартально-периметральной модели, предусмотренные по сторонам улиц сооружения, были построены, а благоустройство дворов, застроенных устаревшими домами, по экономическим причинам постоянно откладывалось [3]. С 1990-х гг. во дворах наблюдается неконтролируемое строительство многочисленных мелких строений, что более усугубляет неорганизованность пространства [4, 5]. В результате формируется неблагоприятная среда, требующая немедленного градостроительного вмешательства. Это важно не только с точки зрения предметного окружения. Среда, с которой человек

имеет постоянную привязанность, оказывает существенное влияние и на психологию личности. По словам А. Иконникова, «духовное развитие людей, так же, как и физическое, во многом зависит от окружения, в котором они живут и работают» [1, с. 3].

Наглядным примером этой проблемы является квартал, прилегающий к улицам Вардананц, Чаренц и Шагинян г. Еревана, задачам реконструкции которого и посвящена данная работа.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Работа выполнена с помощью общенаучных методов теоретического исследования, систематизации анализа, синтеза и обобщения материала (натурные исследования отдельных элементов застройки, изучение архивных источников, официальных документов, опубликованных материалов по зарубежной и отечественной архитектуре).

С марта по октябрь 2019 г. было проведено всестороннее изучение участка. Оно включало: ознакомление с архивными материалами; натурные исследования и обмеры; беседы с жителями; опросы в мэрии г. Ереван<sup>1</sup>; Агентстве по охране памятников истории и культуры Министерства культуры Республики Армении (РА)<sup>2</sup>; Музее истории г. Ереван<sup>3</sup>; Национальном музее-институте архитектуры Армении<sup>4</sup>; архитектурных мастерских и инвестиционных компаниях, осуществляющих проекты на указанной территории. Это позволило обобщить исторический процесс развития застройки квартала, приметить реализуемые в настоящее время программы, опре-

<sup>1</sup> Мэрия Еревана. URL: <https://www.yerevan.am/am/>

<sup>2</sup> Агентство по охране памятников истории и культуры Министерства культуры Республики Армении. URL: [http://mincult.am/history\\_and\\_culture\\_monuments\\_protection\\_agency.html](http://mincult.am/history_and_culture_monuments_protection_agency.html)

<sup>3</sup> Музей истории г. Еревана. URL: <https://www.yerevan.am/ru/museum-of-history-of-yerevan/>

<sup>4</sup> Национальный музей-институт архитектуры Армении. URL: <http://www.archmuseum.am/>

делить существующие проблемы и выявить основные технико-экономические показатели.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Исторический процесс развития застройки территории.** Как свидетельствуют сохранившиеся картографические документы (генеральный план 1856 г., планы города 1911 и 1920 гг.) в XIX и в начале XX вв. исследуемая территория расположена в северной зоне района Темирпуллак, на участке обширных плодовых садов к востоку от р. Гетар [6]. Согласно разработанному А. Таманяном генеральному плану города 1924 г., территория является продолжением одной из композиционных осей центра города — Главного проспекта и завершается площадью (проект не реализован). Идея продолжения оси сохраняется также в генеральном плане 1939 г., где, однако, проспект завершается большим парком (проект не реализован), к которому примыкает построенный рядом в 1935 г. Республиканский стадион [7]. По проекту застройки центра 1964 г. (заложенный в основу генерального плана 1971 г.) также планируется продолжение Главного проспекта, но не столь подчеркнуто, как в предыдущем проекте. Участок планируется застроить парками и зданиями общественного назначения (реализованы только спортивно-учебные сооружения) [8]. В генеральном плане 2005 г. идея продолжения Главного проспекта проигнорирована. В нем упорядочена стихийно сложившаяся за последние десятилетия фактическая ситуация, т.е. учтены действующие строения функционального назначения (жилье, торговля, спорт, образование) (рис. 1.1).

Итак, несмотря на наличие вышеуказанных проектных идей, большая часть из них, в связи с постоянными задержками застройки центра при интенсивном развитии новых жилых образований города, в советский период не осуществилась. А в первые постсоветские десятилетия, в эпоху становления рыночной экономики, когда первостепенную роль приобрели интересы представителей частной собственности, широкомасштабные программы застройки преданы забвению и участок подвергся произвольной застройке, что привело к современному неблагоприятному состоянию [3].

**Исследование и анализ современного состояния застройки.** На основе исследования был составлен опорный план участка (рис. 1.2). Квартал имеет смешанную застройку разнохарактерного функционального содержания. По ул. Врацян участок делится на две части — южную и северную. В южной части, в прилегающей к ул. Врацян зоне расположены спортивный комплекс «Динамо», здания боевой и физической подготовки и районного

отделения полиции РА и недостроенное 13-этажное жилое здание. Вся остальная зона состоит из беспорядочно застроенных, большей частью 2–3-этажных жилых домов с объектами обслуживания, расположенным на нижних этажах (в основном со стороны ул. Чаренц). В квартале действует одно дошкольное учреждение. На северо-западной стороне расположены жилые 9–11-этажные дома, торговые объекты, бензозаправочная станция и ярмарка стройматериалов. На прилегающем к ул. Шагинян участке находится комплекс Детско-юношеской олимпийской школы гимнастики, к югу от него — корпус Ереванского филиала МГУ. Восточная часть в основном занята комплексом Республиканского стадиона, состоящего из стадиона и открытого бассейна (в разрушенном состоянии). На участке пересечения ул. Чаренц – Шагинян расположено три 16-этажных многоквартирных здания, около пересечения ул. Чаренц – Врацян — котельная и здание АТС.

Несмотря на наличие государственных, общественных и историко-культурных объектов, общая застройка не упорядочена, что не способствует удобной и безопасной эксплуатации территории. Функциональные зоны часто смешаны, а необходимые условия для изолирования определенных функций не обеспечены. Имеются пустующие участки и ветхие строения, не подлежащие дальнейшей эксплуатации. Требования к расстоянию между сооружениями, инсоляции, освещению, вентиляции, обеспечению обязательных проездов и подходов не соблюдаются. Не хватает зеленых насаждений, нет единства композиционных и художественных решений пространства.

В настоящее время в квартале фактически реализуется одна программа застройки. На участке бывшей котельной идет строительство 16-этажного многофункционального жилого комплекса. Данный проект, несомненно, окажет определенное положительное влияние, однако, по сути, не может оказать значительное воздействие на решение общих проблем застройки квартала.

Пространственно-планировочные и функциональные характеристики квартала приведены в табл. 1.

**Проектное предложение по реконструкции.** Как отмечает Ф. Исидори, «в зонах застройки города, прошедших путь исторического развития, здания и пространства подвергаются бесконечному процессу трансформации, что со временем создает уникальные образы» [9, с. 103]. И, как показывают разные исследования, при разработке подобных проектов определенное пространство необходимо рассматривать в наиболее крупном градостроительном масштабе, а не как отдельно действующую среду [10–20]. В этом контексте наше предложение

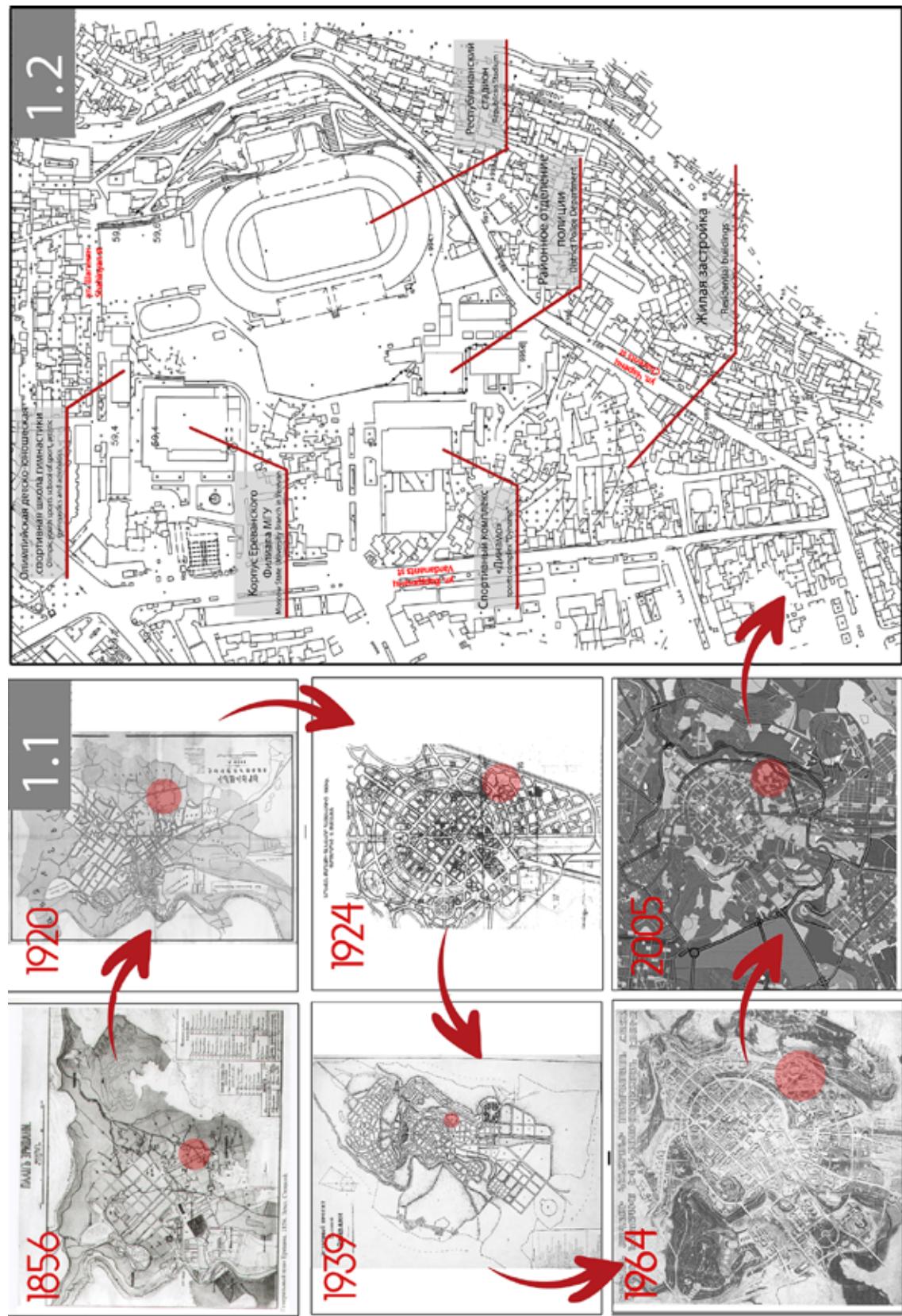


Рис. 1. Территория квартала: исторический процесс развития застройки (1.1); опорный план (1.2)  
Fig. 1. The quarter territory: the historical process of development (1.1); a basic plan (1.2)

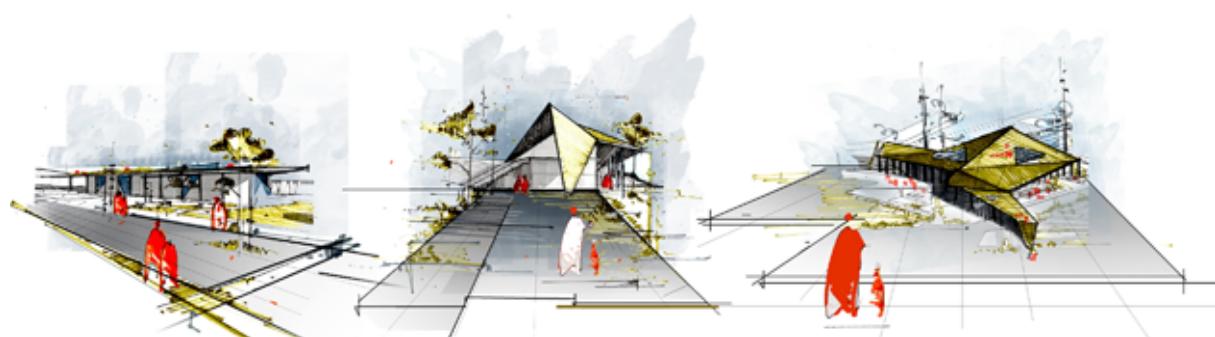
**Табл. 1.** Характеристики участка по пространственно-планировочным и социально-функциональным признакам  
**Table 1.** Characteristics of the site by the spatial planning and socio-functional features

№	Наименование / Name	Характеристика / Characteristic	
1	Размещение в структуре города / Location in the city structure	Юго-восточные кварталы центра / Southeast quarters of the City center	
2	Историко-культурная значимость / Historic-cultural significance	Юго-восточное окончание Главного проспекта. Наличие памятника истории и культуры (Республиканский стадион) / Southeast end of General Avenue. The presence of a monument of history and culture (Republican stadium)	
3	Время возникновения / Origination period	1930-е гг. / The 1930s	
4	Характер планировочной организации / Planning organization type	Смешанная застройка / Mixed development	
5	Этажность / Number of storeys	Смешанный (1–16 этажей) / Mixed (1–16 storeys)	
6	Функциональное назначение / Function	Многофункциональное (жилье, административные, спортивные и культурно-зрелищные учреждения, объекты обслуживания, торговли, образования) / Multifunctional (housing, administrative, sports, cultural and entertainment institutions, facilities for services, trade, education)	
7	Социально-демографические признаки / Socio-demographic signs	Возрастная и социальная структура населения / Age and social structure of the population	Смешанная, без четко определенных групп / Mixed, without clearly defined groups
		Время пребывания населения / Time of the population residence	Постоянное, временное / Permanent, temporary
8	Ландшафтные условия территории / Landscape	Форма и размеры участка / Shape and dimensions of the site	Трапециевидный, 410 × 205 × 690 × 670 м / Trapezoid 410 × 205 × 690 × 670 m
		Рельеф / Relief	Спокойный, с резким спадом в северо-восточной оконечности / Calm, with a sharp decline in the northeast end

направлено не только на упорядочение застройки и удовлетворение эстетических, инженерных и санитарных требований. Одной из идей является также принцип переплетения городских пространств при организации безопасного передвижения боль-

ших пешеходных потоков в сложном коммуникационном узле (рис. 2).

Согласно проекту, определенные здания сохраняются, а бессистемная, изношенная застройка заменяется новым жилым кварталом и обществен-



**Рис. 2.** Эскизные варианты

**Fig. 2.** Sketch options

ными сооружениями. В южной части сохраняются спорткомплекс «Динамо», здание полиции, планируется завершить строительство 13-этажного жилого дома. Сносятся 2–3-этажные дома и прилегающие к ним мелкие объекты обслуживания. В северной части остаются 16-этажные много квартирные дома, комплексы олимпийской школы и Республиканского стадиона (с реконструкцией открытого бассейна). Сносятся осуществленные с грубыми нарушениями градостроительно-композиционных принципов 9–11-этажные жилые дома, университетский корпус, стихийно возникшие постройки обслуживания, бензовозовая станция и ярмарка стройматериалов. Здание филиала МГУ планируется перенести в другую зону города, так как участок по своему функциональному назначению, площади, а также структуре имеющегося кор-

пуса не соответствует требованиям, предъявляемым к сооружениям данного типа (рис. 3.1).

В южной части планируется построить жилой квартал, включающий 5–18-этажные дома, 2–3-этажные общественные сооружения и детский сад. В северной стороне разместить крупный торгово-общественный центр. Его перекрытие представляет собой просторную террасу — своеобразное продолжение широкой эспланады Главного проспекта в юго-восточном направлении. Слияние пешеходных пространств проспекта и террасы осуществляется с помощью связывающего надземного перехода, берущего начало около памятника В. Мамионяну. В конце террасы, на примыкающей к стадиону стороне организован амфитеатр, сценическим пространством которого служит большая площадка возле входа в стадион. Это дает возмож-

**Табл. 2.** Технико-экономические показатели проекта

**Table 2.** Project technical and economic indicators

№	Наименование / Name	Показатели / Indicators	
		По проекту / According to the project	До проекта / Before
1	Общая площадь территории, м <sup>2</sup> / The total area of the site, m <sup>2</sup>	183 475	183 475
2	Площадь застройки, м <sup>2</sup> / Building area, m <sup>2</sup>	56 400	70 700
3	Общая площадь жилых сооружений, м <sup>2</sup> / The total area of residential buildings, m <sup>2</sup>	94 390	69 462 (в том числе 19 124 в индивидуальных домах) / (including 19 124 in the private houses)
4	Общая площадь сооружений общественного назначения, м <sup>2</sup> / The total area of public buildings, m <sup>2</sup>	77 170	54 784
5	Общая площадь парковочных мест, м <sup>2</sup> / The total area of the parking space, m <sup>2</sup>	63 190 (1807 мест) / (1807 places)	21 730 (720 мест) / (720 places)
6	Площадь озеленения, м <sup>2</sup> / Area of the green zone, m <sup>2</sup>	57 000	28 645
7	Коэффициент плотности застройки, % / Building density factor, %	30,73	38,53
8	Коэффициент озеленения, % / Green zone factor, %	31,07	15,61
9	Число жителей, чел. / Number of inhabitants, people	4289	2570, в том числе 710 в индивидуальных домах / 2570, including 710 in the private houses
10	Число посетителей за день, чел. / Number of visitors per day, people	2500–17 500	1000–16 000
11	Плотность жилого фонда, м <sup>2</sup> /га / Habitation density, m <sup>2</sup> /ha	5146	3787
12	Плотность населения территории, чел./га / The density of the population, people/ha	233	140

**Табл. 3.** Показатели реализации проекта

**Table 3.** Project performance indicators

№	Наименование / Name	Показатель / Indicator	
1	Объекты освоения (указаны полезные площади) / Settlement objects (usable areas)	Жилые помещения, м <sup>2</sup> / Residential buildings, m <sup>2</sup>	23 683
		Общественные помещения, м <sup>2</sup> / Public buildings, m <sup>2</sup>	15 567
2	Работы по сносу / Demolition works	Общая площадь, м <sup>2</sup> / Total area, m <sup>2</sup>	52 335
3	Строительно-монтажные работы / Construction and erection works	Надземные сооружения, м <sup>2</sup> / Above-ground buildings, m <sup>2</sup>	92 600
		Подземные сооружения, м <sup>2</sup> / Underground buildings, m <sup>2</sup>	63 190
		Объекты реконструкции, м <sup>2</sup> / Reconstruction facilities, m <sup>2</sup>	7500
		Благоустройство, м <sup>2</sup> / Improvement, m <sup>2</sup>	87 075
		Озеленение, м <sup>2</sup> / Green zones, m <sup>2</sup>	57 000
4	Сформировавшаяся недвижимость (указаны полезные площади, с учетом компенсации объектов освоения) / Formed real estate (usable areas, adjusted for the compensation of the settlement objects)	Жилые помещения, м <sup>2</sup> / Residential buildings, m <sup>2</sup>	55 500
		Общественные помещения, м <sup>2</sup> / Public buildings, m <sup>2</sup>	31 600
		Автостоянки, мест / Parking, places	1767
5	Инвестиции и результаты / Investment and results	Стоимость проектных и строительных работ, млрд AMD / Cost of design and construction works, bn. AMD	32,24
		Стоимость сформировавшейся недвижимости, млрд AMD / Cost of formed real estate, bn. AMD	37,29
6	Длительность проекта / Project duration	Включая все процессы, месяцев / Including all processes, months	34-40

ность, не нарушая зону охраны объекта культурного наследия, в то же время придать новую жизнь бездействующему по соседству с ним гигантскому пространству. Такой подход будет способствовать включению памятника в повседневную жизнь города [12, 14]. Предлагаемое композиционное решение — попытка объединить идеи генерального плана 1924 г. и проекта застройки центра 1964 г. с требованиями, предъявляемыми к данной территории на современном этапе развития города (рис. 1.1, 3.2).

Поскольку нынешнее здание филиала МГУ изначально было построено для комплекса олимпийской школы, которая нуждается в дополнительных площадях, в этой зоне намечается размещение нового спортивного корпуса. На территории квартала планируется построить также подземную двухэтажную автостоянку, упорядочить пешеходные пути, увеличить площадь зеленых насаждений (рис. 3.2). Основные технико-экономические показатели проекта приведены в табл. 2. Показатели реализации проекта обобщены в табл. 3.

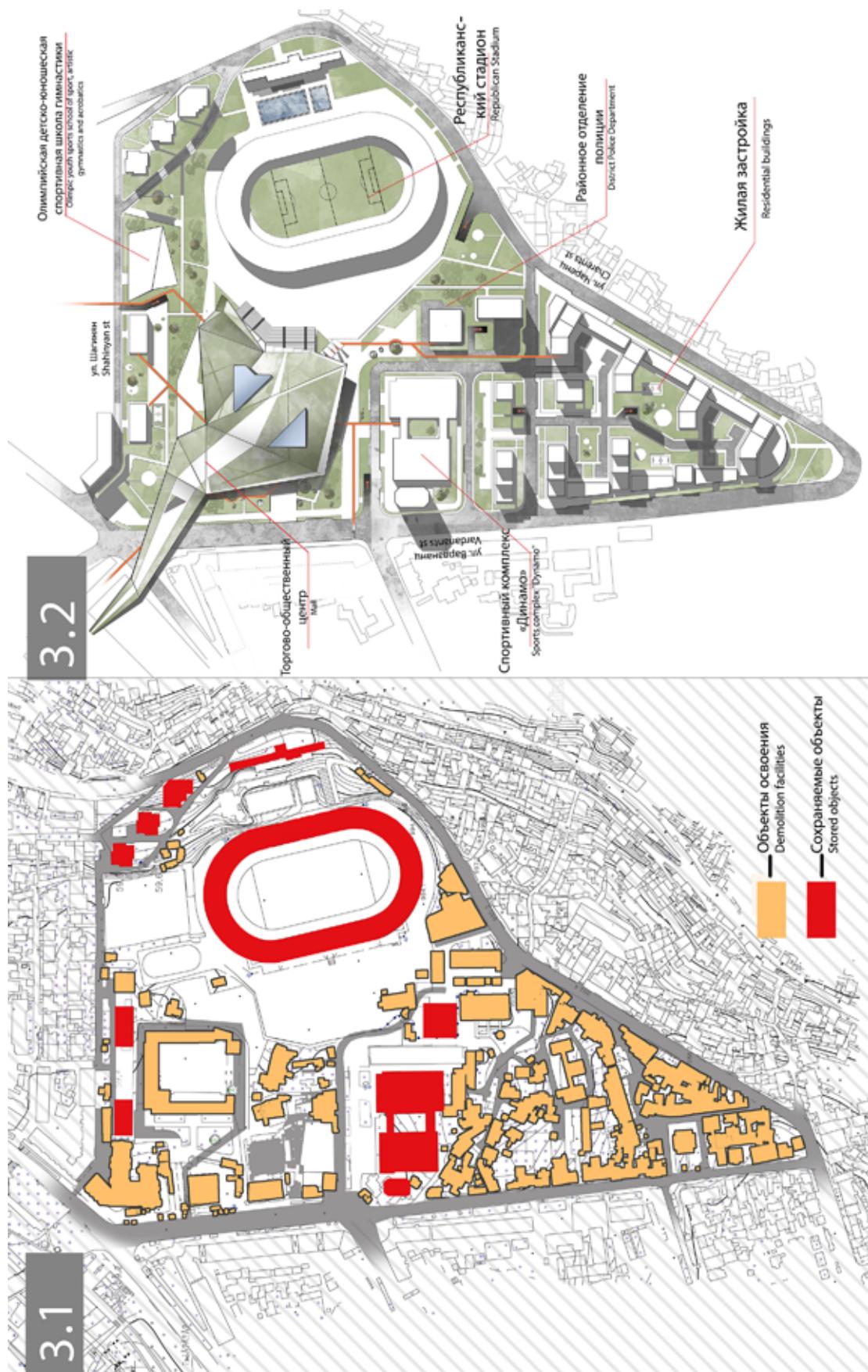


Рис. 3. Проектное предложение: схема освоения (3.1); генеральный план (3.2)  
Fig. 3. Project proposal: settlement scheme (3.1); master plan (3.2)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как и в наших предшествующих предложениях, в основу проекта положены общественные, а не деловые интересы. А именно, результаты рассматривались не в силу финансовых дивидендов, а для оздоровления окружающей среды. В то же время было учтено условие, при котором стоимость полученной недвижимости должна перекрывать затраты проекта. Важную роль должны играть органы государственного и местного управления для принятия соответствующих решений и правовых актов. Для привлечения частных инвестиций в процесс реновации городских пространств следует использовать систему государственных и муниципальных органов, которые могут урегулировать налоги, арендную плату и другие условия. Например, по данным Комитета государственных доходов РА, при исключении НДС расходы сократятся на 20 %.

Экономические расчеты выполнены по следующим соображениям:

- все расходы осуществления проекта перекрываются за счет стоимости полученной недвижимости (положительная разница между доходами и затратами составляет 15,7 %);

• компенсация площадей предусмотренных к освоению объектов (жилых и общественных) рассчитана за счет новой застройки;

• цены проектных и строительно-монтажных работ вычислены на основе указаний по определению сметной стоимости Комитета градостроительства РА;

• цены на недвижимость (освоение, компенсация, реализация) приняты согласно аналитическим данным Комитета статистики РА по 2019 г.

В результате предложения обеспечивается: урегулирование застройки улиц, пешеходного и транспортного движения; снос построенных с нарушением градостроительных требований сооружений; организация благоустроенной, комфортной среды; рост безопасности условий жизнедеятельности в квартале. Также имеют место следующие изменения показателей застройки:

- снижение площади застройки на 20 %;
- увеличение общей площади сооружений на 38 %;
- увеличение площади автостоянок на 191 %;
- увеличение площади озеленения на 99 %;
- увеличение населения на 67 %;
- увеличение числа посетителей за день на 9 %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иконников А.В. Архитектура города. М. : Стройиздат, 1972. 215 с.
2. Ma L.J.C., Wu F. Restructuring the Chinese City: Changing society, economy and space. London, New York : Routledge Curzon, 2005. 283 p.
3. Рашидян Г.Г. Центр Еревана — каким ему быть в будущем // Бюллетень строителей Армении. 1999. № 3 (32). С. 13–15.
4. Азатян К.Р. Жилищная архитектура Еревана в XX в. Основные этапы развития процесса организации дворового пространства // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 3 (114). С. 301–308. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.3.301-308
5. Азатян К.Р., Оганян А.А. Возможности реконструкции квартала между улицами Нар-Дос, Тигран Мец, Заварян и Хоренаци города Еревана // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 4. С. 408–416. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.4.408-416
6. Гаспарян М.А. Архитектура Еревана 19 начала 20 века. Город в пространстве и времени. Palmarium Academic Publishing, 2018. 476 с.
7. Арутюнян В.М., Асратян М.М., Меликян А.А. Архитектура Советской Армении. М. : Стройиздат, 1972. 158 с.
8. Григорян А.Г., Товмасян М.Л. Архитектура Советской Армении. М. : Стройиздат, 1986. 320 с.
9. Isidori F. A structural project: Redevelopment of the historic center of Wuhu // Frontiers of Architectural Research. 2015. Vol. 4. Issue 2. Pp. 100–118. DOI: 10.1016/j.foar.2015.01.001
10. Pilat S.Z. Reconstructing Italy: The Ina-Casa neighborhoods of the Postwar Era. Farnham : Ashgate, 2016. 306 p. DOI: 10.1017/mit.2017.29
11. Bar D., Rubin R. The Jewish Quarter after 1967: a case study on the creation of an ideological-cultural landscape in Jerusalem's old city // Journal of Urban History. 2011. Vol. 37. Issue 5. Pp. 775–792. DOI: 10.1177/0096144211415634
12. Дагданова Ц.Б. Городской исторический квартал: старое и новое // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 3 (18). С. 125–136. DOI: 10.21285/2227-2917-2016-3-125-136
13. Steinberg F. Housing reconstruction and rehabilitation in Aceh and Nias, Indonesia-Rebuilding lives // Habitat International. 2007. Vol. 31. Issue 1. Pp. 150–166. DOI: 10.1016/j.habitatint.2006.11.002
14. Шамарина А.А., Огородова А.Р. Сохранение исторического квартала № 117 города Перми // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2016. № 3. С. 178–191. DOI: 10.15593/2409-5125/2016.03.12

15. Mikhaylova T., Parshin D., Shoshinov V., Trebukhin A. Architectural and town-planning reconstruction problems of the city of Voronezh // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 33. Issue 01033. 7 p. DOI: 10.1051/e3sconf/20183301033
16. Alexeev Y., Anufriev A. Conditions of the transformation of the landscape of the residential quarter developed in the 1950s-1960s in the mass renovation // IOP Conference. Ser. : Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. P. 062003. DOI: 10.1088/1757-899X/365/6/062003
17. Мухитов Р.К. Реконструкция объектов градостроительного наследия: уч. пос. Казань : Изд-во Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2018. 111 с.
18. Mahmoudi Manesh Z., Kerimpour J. “Gentrification” as an effective force: Case study: Reconstruction plan of Hafisa Quarter (Medina of Tunisia) // ITU Journal of the Faculty of Architecture. 2013. Vol. 10. No. 1. Pp. 84–95.
19. Бобылева Е.В., Абакумов Р.Г. Эффективность реконструкции городской застройки в городе Белгороде // Инновационная наука. 2016. № 5. С. 197–198.
20. Бондарева Е.В. Современное состояние и перспективы реконструкции старых жилых кварталов по ул. Новая Заря – Баумана в г. Красноярске // Баландинские чтения. 2016. Т. 11. № 1. С. 267–273.

Поступила в редакцию 11 ноября 2019 г.

Принята в доработанном виде 10 декабря 2019 г.

Одобрена для публикации 29 января 2020 г.

**О Б А В Т О Р АХ:** **Карен Рубенович Азатян** — доктор архитектуры, проректор по научным работам; **Фонд «Национальный университет архитектуры и строительства Армении» (Фонд «НУАСА»)**; 0009, Республика Армения, г. Ереван, ул. Теряна, д. 105; karenazatyan77@gmail.com;

**Инга Андрапиковна Мирзоян** — магистр кафедры архитектурного проектирования и дизайна архитектурной среды; **Фонд «Национальный университет архитектуры и строительства Армении» (Фонд «НУАСА»)**; 0009, Республика Армения, г. Ереван, ул. Теряна, д. 105; imirzoyan1997@mail.ru.

## REFERENCES

1. Ikonnikov A.V. *City architecture*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1972; 215.
2. Ma L.J.C., Wu F. *Restructuring the Chinese City: Changing society, economy and space*. London, New York, Routledge Curzon, 2005; 283.
3. Rashidian G.H. Center of Yerevan — how to be in the future. *Bulletin of Builders' Union of Armenia*. 1999; 3(32):13-15. (rus.).
4. Azatyan K.R. Residential architecture of Yerevan in 20th century. The main stages of development of the yard space organization process. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2018; 13:(114):301-308. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.3.301-308 (rus.).
5. Azatyan K.R., Oganyan A.A. Opportunities for the reconstruction of the quarter between the streets Nar-Dos, Tigran Mets, Zavaryan and Khorenatsi of the city of Yerevan. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14(4):408-416. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.4.408-416 (rus.).
6. Gasparian M.A. *Architecture of Yerevan in the 19th and early 20th century. A city in space and time*. Palmarium Academic Publishing, 2018; 476. (rus.).
7. Arutyunyan V.M., Asratyan M.M., Melikyan A.A. *Architecture of Soviet Armenia*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1972; 158. (rus.).
8. Grigoryan A.G., Tovmasyan M.L. *Architecture of Soviet Armenia*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986; 320. (rus.).
9. Isidori F. A structural project: Redevelopment of the historic center of Wuhu. *Frontiers of Architectural Research*. 2015; 4(2):100-118. DOI: 10.1016/j foar.2015.01.001
10. Pilat S.Z. *Reconstructing Italy: The Ina-Casa neighborhoods of the Postwar Era*. Farnham, Ashgate, 2016; 306. DOI: 10.1017/mit.2017.29
11. Bar D., Rubin R. The Jewish Quarter after 1967: a case study on the creation of an ideological-cultural landscape in Jerusalem's old city. *Journal of Urban History*. 2011; 37(5):775-792. DOI: 10.1177/0096144211415634
12. Dagdanova Ts.B. City historical quarter: old and new. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2016; 3(18):125-136. DOI: 10.21285/2227-2917-2016-3-125-136 (rus.).

13. Steinberg F. Housing reconstruction and rehabilitation in Aceh and Nias, Indonesia-Rebuilding lives. *Habitat International*. 2007; 31(1):150-166. DOI: 10.1016/j.habitatint.2006.11.002
14. Shamarina A.A., Ogorodova A.R. Preservation of historical district nr.117 of Perm. *PNRPU Bulletin, Applied ecology. Urban development*. 2016; 3:178-191. DOI: 10.15593/2409-5125/2016.03.12 (rus.).
15. Mikhaylova T., Parshin D., Shoshinov V., Trebukhin A. Architectural and town-planning reconstruction problems of the city of Voronezh. *E3S Web of Conferences*. 2018; 33(01033):7. DOI: 10.1051/e3s-conf/20183301033
16. Alexeev Y., Anufriev A. Conditions of the transformation of the landscape of the residential quarter developed in the 1950s-1960s in the mass renovation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 365:062003. DOI: 10.1088/1757-899X/365/6/062003
17. Mukhitov R.K. *Reconstruction of urban heritage objects: textbook*. Kazan, Publishing house of the Kazan State University of Architecture and Engineering, 2018; 111. (rus.).
18. Mahmoudi Manesh Z., Kerimpour J. “Gentrification” as an effective force: Case study: Reconstruction plan of Hafisa Quarter (Medina of Tunisia). *ITU Journal of the Faculty of Architecture*. 2013; 10(1):84-95.
19. Bobyleva E.V., Abakumov R.G. The effectiveness of the reconstruction of urban development in the city of Belgorod. *Innovation Science*. 2016; 5:197-198. (rus.).
20. Bondareva E.V. Modern condition and perspectives of reconstruction for residential areas on Novaia Zarya and Baumana streets in Krasnoyarsk. *Balandin Readings*. 2016; 11(1):267-273. (rus.).

Received November 11, 2019.

Adopted in a revised form on December 10, 2019

Approved for publication on January 29, 2020.

**BIONOTES:** Karen R. Azatyan — Doctor of Science (Architecture), vice-rector in scientific work; “National University of Architecture and Construction of Armenia” Foundation (“NUACA” Foundation); 105 Teryan st., Yerevan, 0009, Republic of Armenia; karenazatyan77@gmail.com;

Inga A. Mirzoyan — Master of Architecture, Department of Architectural Drafting and Architectural Environment Design; “National University of Architecture and Construction of Armenia” Foundation (“NUACA” Foundation); 105 Teryan st., Yerevan, 0009, Republic of Armenia; imirzoyan1997@mail.ru.

## **Нормативно-техническое регулирование в области озеленения городской среды**

**М.В. Борисов<sup>1</sup>, Н.В. Бакаева<sup>2</sup>, И.В. Черняева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева (ОГУ имени И.С. Тургенева);  
г. Орел, Россия;

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

### **АННОТАЦИЯ**

**Введение.** Одна из ключевых задач градостроительной деятельности — обеспечение безопасности жизнедеятельности и создание высокого качества городской среды, определяемые как способность среды удовлетворять потребностям человека. Создание благоприятной городской среды является также одной из главных стратегических задач государства, для чего в ближайшей перспективе необходимо обеспечить радикальное повышение комфортности городской среды, увеличение индекса качества городской среды, а также уменьшение числа городов с неблагоприятной средой. Возникла необходимость внедрения новых системных подходов градоустройства к оценке эффективности проектных решений в области озеленения городской среды. Предмет исследования — нормативно-техническое регулирование в области озеленения городской среды. Цель — анализ основных проблем нормативно-технического регулирования в области озеленения городской среды.

**Материалы и методы.** Методологическая основа исследования — принципы градоустройства, базирующиеся на расчете троичных балансов биотехносферы. Варьируя элементами озеленения, можно регулировать уровень восстановительных сил биосфера, уравновешивая антропогенное воздействие на городскую среду. Методы исследования: ознакомление с соответствующими нормативно-правовыми документами в области озеленения городской среды и комплексный анализ градостроительной документации с целью решения задач стратегического планирования развития территории.

**Результаты.** Выполнен анализ основных проблем нормативно-технического регулирования в области озеленения городской среды. Раскрыты функции озеленения в составе территориальных зон города. Приведена градация систем озеленения в планировочной урбанизированной структуре на различных градостроительных уровнях. Проведен сравнительный анализ озеленения территориальных зон трех крупных городов ЦФО — Орла, Смоленска и Тамбова. Предложен способ регулирования восстановительных сил биосфера балансовыми соотношениями составляющих баланса биотехносферы, включая элементы озеленения различной интенсивности.

**Выходы.** Создание непрерывной системы озелененных территорий и других открытых пространств, основанных на принципах градоустройства, на сегодняшний день — основной инструмент формирования благоприятной городской среды. Требуются новые системные подходы к оценке эффективности проектных решений в области благоустройства и внедрения нового комплексного показателя обеспеченности озеленения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** градоустройство, нормирование, комфортность, безопасность, озеленение, городская среда, баланс биотехносферы, территориальное зонирование, система озелененных территорий города, норма озеленения

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Борисов М.В., Бакаева Н.В., Черняева И.В. Нормативно-техническое регулирование в области озеленения городской среды // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 212–222. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.212-222

## **Normative and technical regulation in the field of urban green space arrangement**

**Mikhail V. Borisov<sup>1</sup>, Natalia V. Bakaeva<sup>2</sup>, Irina V. Chernyaeva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Orel State University named after I.S. Turgenev (Orel State University); Orel, Russian Federation;

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

### **ABSTRACT**

**Introduction.** One of the urban planning key tasks is to ensure the personal and social safety and create a high-quality urban environment defined as the ability of the environment to meet human needs. Creating a favorable urban environment is also one of the most important strategic tasks of the state. For that reason, in the nearest future, it is necessary to ensure a cardinal increase in the urban environment comfort, increase the urban environment quality index and reduce the number

of settlements with an unfavorable environment. Thus, there is a need to introduce new urban planning system approaches to the assessment of the effectiveness of design solutions in the field of urban green space arrangement. The scope of the research is normative and technical regulation in the field of urban green space arrangement, while its objective is the analysis of the main regulation problems.

**Materials and methods.** The methodological basis of the study is the principles of urban planning based on the calculation of triple balances of the biotechnosphere. By varying the elements of the green space arrangement, it is possible to regulate the level of the biosphere's regenerative forces, thus balancing the anthropogenic impact on the urban environment. Methods of the research are familiarization with the relevant legal documents in the field of urban green-space arrangement and integrated analysis of urban planning documentation for solving the problems of strategic planning of territorial development.

**Results.** The analysis of the main problems of normative and technical regulation in the field of urban green space arrangement is performed. The functions of gardening in the composition of the urban territorial zones are revealed. The paper shows a gradation of landscaping systems in the urban planning structure at various urban planning levels. A comparative analysis of the landscaping of the territorial zones is given for three major towns of the Central Federal district: Orel, Smolensk, and Tambov. A method to create favorable conditions for life, is proposed for regulating the regenerative forces of the biosphere with the balance ratios of the components of the biotechnosphere balance, including elements of various gardening intensities.

**Conclusions.** Creating a continuous system of green and other open spaces based on the principles of urban planning is currently the main tool for creating a favorable urban environment. Currently, new system approaches are required to assess the effectiveness of design solutions in the field of landscaping and introducing a new integrated indicator of the availability of green spaces.

**KEY WORDS:** town planning, regulation setting, comfort, safety, green space arrangement, urban environment, biotechnosphere balance, territorial zoning, urban green space system, green space standard

**FOR CITATION:** Borisov M.V., Bakaeva N.V., Chernyaeva I.V. Normative and technical regulation in the field of urban green space arrangement. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(2):212-222. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.212-222 (rus.).

## ВВЕДЕНИЕ

Устойчивые «зеленые» города — одна из целей развития мира, принятых Генеральной Ассамблей ООН 25 сентября 2015 г. К 2030 г. странам мира необходимо «обеспечить всеобщий доступ к безопасным, открытым для всех и легкодоступным зеленым зонам, общественным местам отдыха, в частности для женщин и детей, пожилых людей и инвалидов» [1].

Города являются основной формой территориальной, социально-экономической и культурной организации современного общества. Доля городского населения России составляет более 75 % от населения страны. Городская среда становится основным фактором, влияющим на психоэмоциональное [2–4] и физическое [5, 6] здоровье человека. Вследствие этого одна из ключевых задач градостроительной деятельности — обеспечение безопасности жизнедеятельности и создание высокого качества городской среды, определяемых как способность среды удовлетворять потребностям человека. Создание благоприятной городской среды — также одна из главных стратегических задач государства, которые определены Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Рос-

сийской Федерации на период до 2024 года» в целях осуществления прорывного научно-технологического и социально-экономического развития РФ, увеличения численности населения страны, повышения уровня жизни граждан и обеспечения их социальных гарантий. В соответствии с этим документом в ближайшей перспективе требуется обеспечить радикальное повышение комфорта городской среды, увеличение индекса качества городской среды, снижение числа городов с неблагоприятной средой.

За последние два десятилетия в направлении создания комфортной и обеспечения безопасной среды жизнедеятельности городского населения выполнен ряд прикладных исследований, направленных на получение новых научных результатов, базирующихся на принципах симбиоза градостроительных систем и их естественно-природного окружения.

Особый интерес представляют труды ученых Н.И. Барсукова, Б.С. Истомина, Д.О. Душковой и др. [2–6], в которых город рассматривается как функциональное единство — экосистема. Различным проблемам пространственного развития города, а также вопросам озеленения городской среды посвящены также многие зарубежные исследования [3, 4, 6–10].

В работе [11] А.Е. Ениным и Т.И. Грошевой представлена иерархия ландшафтно-рекреацион-

ного пространства в архитектурно-планировочной структуре городов на примере одного из городов ЦФО. Такой комплексный подход к проблеме воссоздания общественных рекреационных территорий позволяет обосновать с научной точки зрения роль и значение такого специфического вида деятельности как гармонизация взаимного влияния населения и рекреационной среды жизнедеятельности.

Основные проблемы, связанные с организацией зеленых зон в городской среде при реализации парных функций «Жизнеобеспечение» и «Связь с природой», рассмотрены авторами Н.В. Бакаевой и И.В. Черняевой [12]. Приведена градация систем озеленения в планировочной урбанизированной структуре на различных градостроительных уровнях на примере г. Орла. Проанализированы проблемы точечной застройки и предложены современные методы формирования зон экологического комфорта в городах с плотной застройкой.

Методы оценки лесов зеленых пространств городов в рамках концепции биосферной совместности предложены В.А. Егорушкиным [13]. Автор исследует вопросы экологической безопасности и формирования комфортной среды для жителей современного поселения с помощью лесов зеленых территорий, а также показывает необходимость пересмотра существующих норм дифференциации зеленых пространств городов.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Одним из критериев оценки качества градостроительных решений по созданию благоприятной среды жизнедеятельности могут служить принципы градоустройства, предложенные Российской академией архитектуры и строительных наук (РА-АСН) [14]. Принципы градоустройства направлены на преодоление отрицательных направлений и регressiveных процессов в жизнедеятельности городов, обеспечение развития человека и повышение человеческого потенциала. Они базируются на расчете тройственных балансов биотехносферы, которые устанавливают соотношения между населением, техносферой и биосферой, а также номенклатуру и количество изъятых ресурсов в единицу времени с соотнесением к территории города [15]. Если такие соотношения тройственного баланса биотехносферы не выполняются, то в мегаполисе, необходимо: либо переориентировать производства и внедрять инновации в техносферу для того, чтобы сократить давление на биосферу и уменьшить негативное влияние на население; либо контролировать рост численности жителей в данном городе при имеющихся технологиях в техносфере [16]. Путем варьирования элементов озеленения возможно

регулировать уровень восстановительных сил биосферы, тем самым уравновешивая антропогенное воздействие на городскую среду.

Благоприятным условиям жизнедеятельности человека может способствовать принятие научно обоснованных градостроительных нормативных документов как федерального, так и регионального значения по созданию градостроительных зеленых зон. Поэтому в настоящее время при проектировании городских объектов и территориальном планировании все большее внимание стало уделяться вопросам благоустройства и озеленения городов, учитывая экономические, социальные, экологические и прочие условия территории, а также интересы горожан. Вместе с тем множество проблем жизнедеятельности человека и состояния городской среды остаются нерешенными и требуют научно обоснованного урегулирования в совокупности мероприятий по планировке и застройке жилых территорий. В их числе и действующие законодательная и нормативная базы технического регулирования в этой области, которые не содержат четкого и однозначного ответа на вопрос, какие требования градостроительного проектирования смогут обеспечить комфортные и безопасные поселения.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Городская среда имеет неоднородную структуру с точки зрения использования территории, которую можно первично дифференцировать в соответствии с территориальным зонированием, регламентируемым Градостроительным кодексом РФ. Выделяются следующие типы городской среды с определенным набором функционально-планировочных и объемно-пространственных характеристик: жилая, общественно-деловая, производственная, рекреационная, особо охраняемая, специального и сельскохозяйственного назначения, инженерной и транспортной инфраструктур.

Одним из механизмов оздоровления городской среды служит озеленение [17, 18], которое выполняет следующие функции в составе территориальных зон:

- санитарно-гигиеническую — является основной в жизнедеятельности, способствует очищению воздуха от пыли и газов, оказывая ионизирующее и фитонцидное воздействие, снижению шумового и ветрового воздействия, регулируя температурно-влажностный режим территории (жилая, общественно-деловая территориальные зоны);

- рекреационную — производная от санитарно-гигиенической функции, создает комфортные параметры микроклимата и акустической среды, тем самым, привлекая горожан как место для отдыха

и психологической разгрузки (рекреационная территориальная зона) [11];

- эстетическую — является архитектурно-планировочным и декоративно-художественным элементом застройки, позволяет формировать более разнообразный облик города с точки зрения: цвета, света и формы (рекреационная и особо охраняемая территории);
- природоохранную и научную, поддерживая благоприятное состояние окружающей среды, экологическое равновесие, также является объектом научных исследований (особо охраняемые территории, включающие земельные участки, имеющие природоохранное и научное значение);
- историческую и культурную. В исторических садах и парках создается ощущение причастности к культурному прошлому, индивидуальности конкретного места (особо охраняемые территории, включающие земельные участки, имеющие особое историко-культурное значение — культурно-туристская зона, зона охраны объектов культурного и исторического наследия).

Рассмотрим сложившуюся на сегодняшний день систему нормативно-технического регулирования по созданию благоприятной среды жизнедеятельности города, в том числе и с использованием озеленения городской среды.

ГОСТ 28329-89 «Озеленение городов. Термины и определения» дает следующее определение: «система озелененных территорий города — это равномерное размещение взаимоувязанных городских озелененных территорий, определяемое архитектурно-планировочной организацией города и планом его дальнейшего развития, предусматривающее связь с загородными насаждениями».

Нормативно-техническое регулирование вопросов озеленения может быть регламентировано в следующих видах документов: на федеральном уровне — строительные правила (СП), на региональном уровне — региональные нормативы градостроительного проектирования (РНГП), на местном уровне — правила землепользования и застройки (ПЗЗ) и правила благоустройства и содержания территории (ПБиСТ). Данная структура нормативных документов позволяет дифференцировать вопросы озеленения при территориальном планировании и проектировании городской застройки.

Нормы общегородского озеленения зависят от размеров города, природно-климатических характеристик местности и сложившейся градостроительной ситуации. Нормы благоустройства формируют запрос к размерам и структуре городского озеленения в рамках генерального плана населенного пункта, а также при разработке проекта планировки территории (ППТ). В связи с чем СП 42.13330.2016

«Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\*» и СП 82.13330.2016 «Благоустройство территорий. Актуализированная редакция СНиП III-10-75», и РНГП являются отправной точкой регулирования благоустройства и озеленения городских территорий. Своды правил содержат лишь два обязательных к проектированию показателя оценки качества городской среды, устанавливая минимально допустимый уровень обеспеченности и максимально допустимый уровень территориальной доступности объектами благоустройства и озеленения.

К озелененным территориям в городе относят: скверы, парки, бульвары, городские сады, лесопарки и прочие объекты, которые располагаются в рекреационной территориальной зоне. Уровень обеспеченности этими объектами выражается, как правило, *площадью озелененной территории на одного жителя*, а уровень доступности может выражаться *пешеходной или транспортной доступностью*. Градация систем озеленения в планировочной урбанизированной структуре на четырех градостроительных уровнях была рассмотрена в работе [12]. *Первый уровень* — планировка городского округа, поселения, населенного пункта (городские парки и лесопарки). *Второй уровень* — планировка района, микрорайона (микрорайонные сады, скверы и бульвары, зеленые насаждения жилой территории, озелененная часть участков школ и детских дошкольных учреждений). *Третий уровень* — благоустройство территории (зеленые зоны, мини-скверы). *Четвертый уровень* — озеленение зданий (озеленение крыш домов, применение вертикального озеленения фасадов). Этот подход был использован авторами при анализе и разработке предложений к составлению нормативного документа по созданию комфортной и безопасной среды жизнедеятельности города<sup>1</sup>. Такой подход дает широкие возможности территориальным единицам России в определении состава региональных норм, анализ которых может основываться на их содержании и уникальных численных свойствах, учитывающих особенности регионов. В связи с этим представляет интерес анализ нормативного обеспечения зеленых зон городов в соответствии с требованиями действующих региональных нормативных документов, а также документов местного уровня. Проведем сравнительный анализ нормативов озеленения, ре-

<sup>1</sup> Разработка методов обеспечения безопасной и создания комфортной среды жизнедеятельности на принципах гармонизации природы, общества и человека: отчет о НИР (заключительный) / НИИСФ РААСН; рук. Ильинич В.А.; исполн.: Шубенков М.В., Колчунов В.И. и др. М., 2019. 600 с.

гламентируемых РНГП, ПЗЗ и ПБиСТ, для нескольких городов России со схожими природно-климатическими параметрами, численностью населения и экономическим развитием.

В соответствии с действующими нормативами градостроительного проектирования федерального уровня для городов с численностью населения от 250 до 500 тыс. чел. площадь озелененных территорий общего пользования должна составлять не менее 16 м<sup>2</sup> на одного человека и находиться в 20–30 мин транспортной доступности.

Основная масса озелененных территорий принятых к анализу городов складывается из городских лесов, лесопарков, расположенных на окраинах городов и в пойменных территориях рек. На рис. 1 представлена схема распределения рекреационных территориальных зон для трех городов ЦФО: Орла, Тамбова и Смоленска.

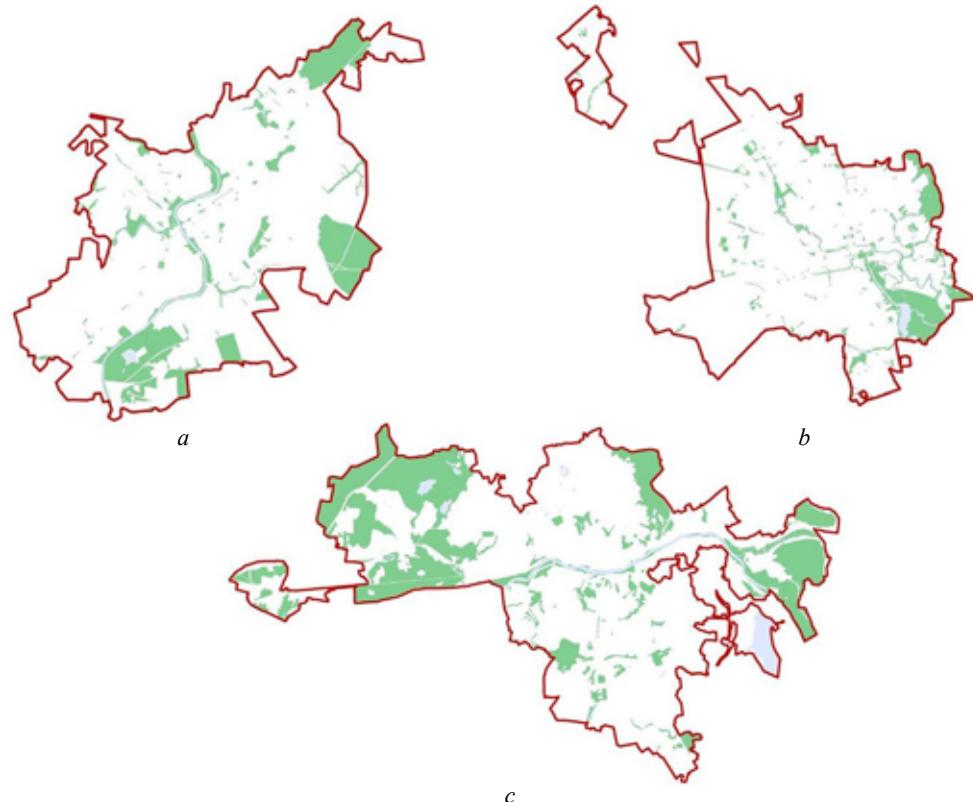
Рекреационные территории в Орле — это Медведевский лес, Андриабужский, Лужковский, Овсянниковский и Прокуровский лесопарки, поймы р. Оки и Орлика; в Смоленске — Пасовский и Соболевский леса, лесные массивы в западной части города на левом берегу Днепра и пойма р. Днепр; в Тамбове — Пригородный лес, лесопарк «Дружба», Ахлебиновская роща, пойма р. Цна и Студенец. Перечисленные объекты являются объектами регу-

лирования регионального и местного уровня и имеются в составе нормативов для городского округа, но в нормативах для муниципальных районов — их нет.

На сегодняшний день в составе региональных нормативов непонятна сфера деятельности нормативов благоустройства вследствие чего, эти территории не относятся к муниципальному району и региону и остаются без благоустройства. Это обстоятельство наглядным образом демонстрируется в рассматриваемых городах: практически все рекреационные территории имеют незначительную благоустроенную зону или она отсутствует — нет организованной дорожно-тропиночной сети, доступа для маломобильных групп населения, оборудованных мест отдыха и санитарно-бытовых помещений. Кроме того, в состав рекреационных зон местами включены территории садовых товариществ, которые по факту не являются общедоступными озелененными территориями.

Анализ количественных характеристик нормируемых параметров показал следующее. Во всех трех городах обеспеченность озелененными территориями городского и районного значения соответствует принятой на местном уровне субъекта РФ норме (табл. 1).

Несмотря на то, что на первый взгляд представляется благополучная ситуация с выполнением



**Рис. 1. Схема распределения рекреационных территориальных зон в:** а — г. Орле; б — г. Тамбове; в — г. Смоленске  
**Fig. 1. Diagram of distribution of recreational territorial zones at the towns of:** a — Orel; b — Tambov; c — Smolensk

**Табл. 1.** Параметры рекреационных зон сравниваемых городов**Table 1.** Parameters of recreational zones at compared towns

Параметр / Parameter	Орел / Orel	Смоленск / Smolensk	Тамбов / Tambov
Численность населения, тыс. чел. / Number of inhabitants, thousand persons	311,625	329,427	291,663
Плотность населения, чел./км <sup>2</sup> / Population density, persons/km <sup>2</sup>	2571,16	1980,32	3019,91
Площадь города, км <sup>2</sup> / Town area, km <sup>2</sup>	121,20	166,35	96,58
Площадь рекреационных зон, км <sup>2</sup> / Recreational zone area, km <sup>2</sup>	20,40	44,37	10,16
Доля рекреационных зон* / Recreational zone fraction*	0,17	0,27	0,11
Уровень обеспеченности озелененными территориями**, м <sup>2</sup> /чел. / Green-space availability level**, m <sup>2</sup> /person	22,1	50,4	18,0
Нормативный уровень обеспеченности озелененными территориями (площадь озелененных территорий общего пользования), м <sup>2</sup> /чел. (в соответствии с СП 42.13330.2016) / The standard level of green-space availability (general use green-space area), m <sup>2</sup> /person (as per SP 42.13330.2016)	10	10	10

*Примечание:* \* — рассчитана от площади рекреационной территориальной зоны; \*\* — рассчитана от площади рекреационной территориальной зоны с понижающим коэффициентом 0,3 для городских лесов, лесопарков и пойм рек.

*Notes:* \* — calculated from the area of the recreational territorial zone; \*\* — calculated from the area of the recreational territorial zone with reduction coefficient 0.3 for town's woods, woodland parks, and river flood plains.

требований норм, следует отметить, что если провести анализ количественных характеристик озеленения территорий в составе территориальных зон, то получится другая картина. Для муниципальных образований ПЗЗ позволяют установить в рамках градостроительных регламентов параметры использования земельных участков в границах различных территориальных зон, предписывая им следующие параметры: *минимальный и максимальный размеры земельного участка, интенсивность использования территории, минимальные отступы от границ земельного участка, максимальный процент застройки*. Наряду с указанными выше могут быть установлены и иные параметры, например, *коэффициент озеленения территории*, который определяется как отношение площади зеленых насаждений (сохраняемых и искусственно высаженных) к площади земельного участка, свободного от озеленения (%). Включение данного показателя в рамки градостроительного регламента обеспечивает обязательность исполнения данных требований на всех этапах проектирования и строительства городских объектов. Одним из ключевых документов нормативно-технического регулирования в области озеленения го-

родской среды является градостроительный план земельного участка (ГПЗУ), содержащий описание установленного градостроительного регламента на конкретном земельном участке. Проектная документация раздела «Схема планировочной организации земельного участка» содержит описание обоснования планировочной организации земельного участка в соответствии с градостроительным регламентом, а ГПЗУ является основанием для разработки данной документации. Прохождение экспертизы проектной документации, получение разрешения на строительство и ввод в эксплуатацию возможен только при наличии действующего ГПЗУ. Таким образом, можно сделать вывод, что требования градостроительных регламентов, закрепленные в ПЗЗ, транслируются на всех этапах подготовки и осуществления строительства, тем самым являясь прямой нормой проектирования, обязательной для исполнения.

Анализ проектных решений по благоустройству территории нескольких жилых районов сравниваемых городов показал, что при формировании новой жилой застройки в структуре кварталов и микрорайонов либо отсутствуют рекреацион-

ные зоны (микрорайон «Зареченский» г. Орел, ЖК «Лазурный» г. Смоленск, микрорайон «Уютный» г. Тамбов), либо проводится политика уплотнения существующей застройки путем точечного строительства, таким образом, увеличивая рекреационную нагрузку на существующую зеленую инфраструктуру и не формируя новую.

Еще в большей степени девальвирует состояние «благоприятных условий жизнедеятельности» показатель уровня обеспеченности озелененными территориями. Эта, так называемая *норма озеленения*, не позволяет поддерживать градостроительный баланс застроенной и озелененной территории. Отсутствие данной нормы в нормативах местного уровня дает возможность застройщику по формальным признакам не предусматривать озеленение.

В рассматриваемых городах форма нормирования и нормативы озеленения жилой застройки согласно РНГП и ПЗЗ значительно разнятся. Так, в Орле площадь озеленения на территории жилой застройки должна составлять не менее 3 м<sup>2</sup>/чел., в Смоленске — не менее 23 м<sup>2</sup> на 100 м<sup>2</sup> общей площади квартир, в Тамбове процент озеленения должен составлять не менее 20 % (табл. 2).

Сложившаяся ситуация показывает отсутствие единой системы нормирования на местном и региональном уровнях: в этих условиях единство нормативов градостроительного проектирования исключается. В отсутствии взаимной увязки региональных и местных нормативов озеленения жилой застройки появляется возможность манипулировать ими, так как отсутствуют обоснования благоприятных условий жизнедеятельности и их минимальной достаточности в части нормативов озеленения.

В свою очередь для муниципальных образований ПБиСТ устанавливают единый порядок содержания, озеленения и благоустройства территорий муниципального образования. Проанализировав

содержание некоторых документов<sup>2</sup>, можно сделать вывод, что они не раскрывают требования к озеленению, регламентируемые в ПЗЗ в части отсутствия методических рекомендаций по видовому составу (клен, береза, дуб), типам (массив, группа, солитер, аллея) и видам (стационарное, мобильное) озеленения в зависимости от территориальной зоны, а также не содержат нормативы в виде количественных значений высадки древесных, кустарниковых и травянистых растений, тем самым не регулируя интенсивность и разнообразность озеленения.

В нормативах градостроительного проектирования остается не решенным вопрос пылеосаждющей, шумо- и газопоглотительной способности зеленых насаждений различных пород и возрастной структуры, научно не аргументировано территориальное расположение защитных лесных насаждений с учетом вида источника загрязнения. В научной литературе [17, 19] приведены некоторые показатели эффективности озеленения территориальных зон различной интенсивности в зависимости от поглощения углекислого газа и выделения кислорода (табл. 3).

Следует отметить, что воспроизведение основных компонентов природной среды обеспечивается преимущественно зелеными насаждениями города (газонами, парками, бульварами) и лишь в небольшой степени городскими лесами. Леса зеленых зон мегаполисов практически не берутся в расчеты по озеленению городских территорий вследствие

<sup>2</sup> Правила благоустройства и санитарного содержания территории муниципального образования «Город Орел» : утв. Решением Орловского городского Совета народных депутатов от 30.06.2011 № 5/0073-ГС;

Правила благоустройства города Смоленска : утв. Постановлением администрации г. Смоленска от 31.03.2014 № 568-адм;

Правила благоустройства и содержания территории городского округа — город Тамбов : утв. Решением Тамбовской городской Думы от 15.04.2009 № 949.

**Табл. 2. Нормы озеленения многоквартирной жилой застройки 5–16 этажей\* (в соответствии с РНГП)**

**Table 2. Standards for greening multiflat residential buildings of 5 to 16 stories\* (as per regional urban planning standards)**

Показатель / Indicator	Орел / Orel	Смоленск / Smolensk	Тамбов / Tambov
Обеспеченность населения, м <sup>2</sup> /чел. / Residential area per capita, m <sup>2</sup> /capita	3,0	4,6	2,67
Обеспеченность застройки, м <sup>2</sup> /100 м <sup>2</sup> / Residential area per housing area, m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup>	0,15	0,23	0,13
Процент озеленения / Green-space percentage	22,5	34,5	20

*Примечание:* \* — параметры рассчитаны из следующих условий: коэффициент интенсивности использования территории — 1,5 и жилищной обеспеченности — 20 м<sup>2</sup>.

*Note:* \* — parameters calculated from the following conditions: territory usage intensity coefficient of 1.5 and residential area of 20 m<sup>2</sup>.

**Табл. 3.** Эффекты озеленения**Table 3.** The green-space arrangement effects

Уровень интенсивности озеленения / Green-space arrangement intensity level	Эффекты озеленения / Green-space arrangement effects				
	Поглощение CO <sub>2</sub> , т/га/год / CO <sub>2</sub> absorption, tonne/ha/year	Улавливание частиц пыли, т/га/год / Dust particle arresting, tonne/ha/year	Выделение O <sub>2</sub> т/га / O <sub>2</sub> emission, tonne/ha	Снижение температуры воздуха, °C / Air temperature reduction, °C	Снижение температуры поверхности, °C / Surface temperature reduction, °C
1 га газонного покрытия / 1 ha of lawn surface	1,03	6,6	0,81	0,5	6
1 га деревьев, высаженных с плотность 100 ед./га / 1 ha of trees planted with a density of 100 units per ha	2,17	2,51	1,71	3,5	12
1 га газонного покрытия при высадке 100 деревьев и 1000 кустарников / 1 ha of lawn surface with 100 trees and 1000 shrubs	3,49	9,435	2,75	5,5	20

того, что градостроительство и лесное хозяйство не пересекаются ни по каким направлениям. Используемые в настоящее время правила выделения зеленых зон городам не позволяют всецело применять принятые площади защитных лесов в качестве одной из составляющих градостроительного баланса территорий. Без вспомогательных исследований доказать достаточность площадей зеленых зон, значительно влияющих на поселение, как источник кислорода, так и поглотитель загрязняющих веществ сегодня невозможно [13]. Площадь защитных лесов в градостроительной документации отсутствует. Требуется осуществление дополнительных научных исследований в вопросах обоснования достаточности защитных лесов с учетом современных экономических условий городов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, создание непрерывной системы озелененных территорий и других открытых пространств, основанных на принципах градоустройства, на сегодняшний день является основным инструментом формирования благоприятной городской среды. В настоящее время требуются

новые системные подходы к оценке эффективности проектных решений в области благоустройства и внедрения нового комплексного показателя обеспеченности озеленения, включающего в себя интенсивность использования территории, ее пешеходную доступность с заданными санитарно-экологическими эффектами для прогнозирования устойчивости развития урбанизируемых территорий. Это позволит регулировать развитие территорий, т.е. появится возможность устойчивого развития экосистемы города с реализацией условий по улучшению городской среды и ее восстановлению при помощи научно обоснованных управляющих решений.

Использование принципов градоустройства на основе баланса биотехносферы в дополнение к градостроительному балансу позволит решить не только проблему эффективности проектных решений в области озеленения, но и развития человека в симбиозе с природной средой. Такой подход может стать частью политики государства по стратегическому планированию развития территорий страны, тем самым обеспечивая социальную ориентацию рыночных отношений, политическую стабильность, безопасность и качество жизни.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барсукова Н.И., Фомина Э.В. Вопросы типологии жилых дворовых пространств современного города // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 5 (180). С. 115–120.
2. Истомин Б.С., Филин В.А. Архитектура и видеоэкология // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 12. С. 36–39.
3. Brown S.C., Perrino T., Lombard J., Wang K., Toro M., Rundek T. et al. Health Disparities in the Relationship of Neighborhood Greenness to Mental Health Outcomes in 249,405 U.S. Medicare Beneficiaries // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018. Vol. 15. P. 430. DOI: 10.3390/ijerph15030430
4. Dzhambov A., Hartig T., Markevych I., Tilov B., Dimitrova D. Urban residential greenspace and mental health in youth: Different approaches to testing multiple pathways yield different conclusions // Environmental Research. 2018. Vol. 160. Pp. 47–59. DOI: 10.1016/j.envres.2017.09.015
5. Душкова Д.О., Хаазэ Д., Евсеев А.В. Оценка экосистемных услуг городской среды и их влияния на здоровье человека: опыт и подходы на примере городов России и Германии // Экология урбанизированных территорий. 2015. № 4. С. 21–27.
6. Chivian E., Bernstein A. Sustaining Life: How Human Health Depends on Biodiversity. New York : Oxford University Press, 2008. 568 p.
7. Yazyeva S., Seferyan L.A., Golubeva A.Yu., Oparina L.A. Greening Technology Organization of Multi-Storey Buildings, in the Reconstruction of Architectural and Planning Solutions with the Use of Modern Building Materials // Materials Science Forum. 2018. Vol. 931. Pp. 883–888. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.883
8. Lee T.-I., Hsieh Y.-S., Huang J.-H., Huang L.-J., Li J.-S., Syu M.-C. et al. Spatial factors affecting patterns of edible landscaping in urban lanes and alleys // WIT Transactions on Ecology and The Environment. 2017. Vol. 214. Pp. 131–139. DOI: 10.2495/ECO170141
9. Sorokina G.A., Kuznetsova O.A., Ligayeva N.A. Problems of landscaping urbanized territory // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 315. P. 052054. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052054
10. Bakaeva N.V., Chernyaeva I.V., Vorobyev S.A. Evaluation of the performance of biosphere compatible city functions in modern residential areas // Journal of Applied Engineering Science. 2017. Vol. 15. Issue 4. Pp. 447–454. DOI: 10.5937/jaes15-14657
11. Енин А.Е., Грошева Т.И. Системный подход к реконструкции ландшафтно-рекреационных пространств // Строительство и реконструкция. 2017. № 4 (72). С. 101–109.
12. Бакаева Н.В., Черняева И.В. Вопросы озеленения городской среды при реализации функций биосферосовместимого города // Строительство и реконструкция. 2018. № 2 (76). С. 85–94.
13. Егорушкин В.А. Новые подходы к оценке лесов зеленых зон городов в свете концепции биосферной совместимости // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2013. № 1 (1). С. 10–13.
14. Ильичев В.А., Емельянов С.Г., Колчунов В.И., Гордон В.А., Бакаева Н.В. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающийся человека. М. : Изд-во АСВ, 2015. 184 с.
15. Ильичев В.А. Расчет гуманитарных балансов биотехносфера // Градостроительство. 2011. № 4 (14). С. 38.
16. Ильичев В.А., Каримов А.М., Колчунов В.И., Алексашина В.В., Бакаева Н.В., Кобелева С.А. Предложения к проекту доктрины градоустройства и расселения (стратегического планирования городов — city planning) // Жилищное строительство. 2012. № 1. С. 2–11.
17. Горохов В.А. Зеленая природа города: учеб. пособие для вузов. М. : Архитектура-С, 2012. 528 с.
18. Douglas O., Lennon M., Scott M. Green space benefits for health and well-being: A life-course approach for urban planning, design and management // Cities. 2017. Vol. 66. P. 53–62. DOI: 10.1016/j.cities.2017.03.011
19. Петрянина Л.Н., Гинза Д.И. Влияние озеленения города на жилую застройку в условиях повышенных летних температур // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2018. № 5 (18). С. 211–217.

Поступила в редакцию 29 октября 2019 г.

Принята в доработанном виде 1 декабря 2019 г.

Одобрена для публикации 31 января 2020 г.

**О Б А В Т О Р АХ:** Михаил Владимирович Борисов — старший преподаватель кафедры строительных конструкций и материалов; Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева (ОГУ имени И.С. Тургенева); 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95; РИНЦ ID: 839431; mik.v.borisov@gmail.com;

**Наталья Владимировна Бакаева** —доктор технических наук, профессор, профессор кафедры градо-строительства, советник РААСН; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 143922, Scopus: 56826095700, Researcher ID: P-1152-2015, ORCID: 0000-0003-0518-6521; natbak@mail.ru;

**Ирина Викторовна Черняева** — кандидат технических наук, доцент кафедры городского хозяйства и строительства автомобильных дорог; **Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева (ОГУ имени И.С. Тургенева)**; 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95; РИНЦ ID: 216986, Scopus: 57194336818, Researcher ID: P-7705-2017, ORCID: 0000-0003-0531-7106; schunya87@yandex.ru.

## REFERENCES

1. Barsukova N.I, Fomina E.V. Questions of residential courtyard spaces typology of the modern city. *Vestnik of OSU*. 2015; 5(180):115-120. (rus.).
2. Istomin B.S., Filin V.A. Architecture and video-ecology. *Industrial and Civil Engineering*. 2006; 12:36-39. (rus.).
3. Brown S.C., Perrino T., Lombard J., Wang K., Toro M., Rundek T. et al. Health Disparities in the Relationship of Neighborhood Greenness to Mental Health Outcomes in 249,405 U.S. Medicare Beneficiaries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018; 15:430. DOI: 10.3390/ijerph15030430
4. Dzhambov A., Hartig T., Markevych I., Tilov B., Dimitrova D. Urban residential greenspace and mental health in youth: Different approaches to testing multiple pathways yield different conclusions. *Environmental Research*. 2018; 160:47-59. DOI: 10.1016/j.envres.2017.09.015
5. Dushkova D.O., Haase D., Evseev A.V. Ecosystem services assessment and its impact on human health — a comparative analysis of expertise and approaches in Russian and German cities. *Ecology of Urban Areas*. 2015; 4:21-27. (rus.).
6. Chivian E., Bernstein A. *Sustaining Life: How Human Health Depends on Biodiversity*. New York, Oxford University Press, 2008; 568.
7. Yazyeva S., Seferyan L.A., Golubeva A.Yu., Oparina L.A. Greening Technology Organization of Multi-Storey Buildings, in the Reconstruction of Architectural and Planning Solutions with the Use of Modern Building Materials. *Materials Science Forum*. 2018; 931:883-888. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.883
8. Lee T.-I., Hsieh Y.-S., Huang J.-H., Huang L.-J., Li J.-S., Syu M.-C. et al. Spatial factors affecting patterns of edible landscaping in urban lanes and alleys. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*. 2017; 214:131-139. DOI: 10.2495/ECO170141
9. Sorokina G.A., Kuznetsova O.A., Ligaeva N.A. Problems of landscaping urbanized territory. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 315:052054. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052054
10. Bakaeva N.V., Chernyaeva I.V., Vorobyev S.A. Evaluation of the performance of biosphere compatible city functions in modern residential areas. *Journal of Applied Engineering Science*. 2017; 15(4):447-454. DOI: 10.5937/jaes15-14657
11. Enin A.E., Grosheva T.I. A systematic approach to the reconstruction of the landscape-recreational spaces. *Building and reconstruction*. 2017; 4(72):101-109. (rus.).
12. Bakaeva N.V., Chernyaeva I.V. Issues of greening the urban environment in the implementation of the functions of the biosphere-compatible city. *Building and reconstruction*. 2018; 2(76):85-94. (rus.).
13. Egorushkin V.A. New approaches to the assessment of the woods in green zones of the cities from the position of the biosphere compatibility. *Biospheric compatibility: human, region, technologies*. 2013; 1(1):10-13. (rus.).
14. Ilyichev V.A., Emelyanov S.G., Kolchunov V.I., Gordon V.A., Bakaeva N.V. *Principles of urban transformation into a biosphere compatible and human developing*. Moscow, ASV Publ., 2015; 184. (rus.).
15. Ilyichev V.A. Calculation of biotechnosphere humanitarian balances. *Urban Planning*. 2011; 4(14):38. (rus.).
16. Ilyichev V.A., Karimov A.M., Kolchunov V.I., Aleksashina V.V., Bakaeva N.V., Kobeleva S.A. Proposals for the draft doctrine of urban planning and settlement (strategic planning of citie — city planning). *Housing Construction*. 2012; 1:2-11. (rus.).
17. Gorohov V.A. *Green nature of the city: studies the manual for high schools*. Moscow, Arkhitektura-S Publ., 2012; 528. (rus.).
18. Douglas O., Lennon M., Scott M. Green space benefits for health and well-being: A life-course approach for urban planning, design and management. *Cities*. 2017; 66:53-62. DOI: 10.1016/j.cities.2017.03.011
19. Petryanova L.N., Ginza D.I. The effect of landscaping on residential development in high summer temperatures. *Education and Science in the Modern World. Innovation*. 2018. 5(18):211-217. (rus.).

*Received October 29, 2019.*

*Adopted in a revised form on December 1, 2019.*

*Approved for publication on January 31, 2020.*

**BIO NOTES:** **Mikhail V. Borisov** — senior lecturer of the Department of Building Structures and Materials; **Orel State University named after I.S. Turgenev (Orel State University)**; 95 Komsomolskaya st., Orel, 302026, Russian Federation; ID PISC: 839431; mik.v.borisov@gmail.com;

**Natalia V. Bakaeva** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Urban Planning, Adviser RAASN; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 143922, Scopus: 56826095700, Researcher ID: P-1152-2015, ORCID: 0000-0003-0518-6521; natbak@mail.ru;

**Irina V. Chernyaeva** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Urban Economy and Construction of Automobile Roads; **Orel State University named after I. S. Turgenev (Orel State University)**; 95 Komsomolskaya st., Orel, 302026, Russian Federation; ID RISC: 216986, Scopus: 57194336818, Researcher ID: P-7705-2017, ORCID: 0000-0003-0531-7106; schunya87@yandex.ru.

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

УДК 666.8:533:004.94

DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.223-234

## Методы моделирования фронта воздушной ударной волны для расчета промышленного сооружения

О.В. Мкртычев, А.Ю. Савенков

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

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Рассмотрены существующие методы моделирования широкого фронта воздушной ударной волны (ВУВ) для решения задачи взаимодействия ударной волны с сооружением с использованием методов газодинамики. При решении задачи взаимодействия ВУВ с сооружением в динамической постановке установлено, что при моделировании широкого фронта дальнего взрыва с использованием точечных взрывов можно получить заниженное время действия ударной волны. Это влечет за собой занижение значений нагрузок на сооружение. Таким образом, полученные при этом нагрузки не соответствуют нагрузкам, на которые необходимо выполнять расчет промышленных сооружений, защищенных от ударной волны в соответствии с отечественными и международными нормативными документами. Для устранения этого недостатка предложен другой подход, заключающийся в задании нагрузки на расчетную область в виде графика давления с заданными параметрами избыточного давления и времени действия.

**Материалы и методы.** Взаимодействие фронта ударной волны с сооружением производится с помощью численного моделирования в нелинейной динамической постановке с использованием методов газодинамики в программном комплексе LS-DYNA.

**Результаты.** Выполнен анализ существующих методов формирования широкого фронта дальнего взрыва; анализ параметров ударной волны при формировании широкого фронта дальнего взрыва с помощью задания графика давления с заданными параметрами избыточного давления и времени воздействия.

**Выводы.** Результат анализа методов численного моделирования взаимодействия широкого фронта воздушной ударной волны с сооружением показал, что моделирование источника взрыва в виде объемных элементов и моделирование ударной волны с помощью функции CONWEP в программном комплексе LS-DYNA имеет недостатки, которые не позволяют получить основные параметры ударной волны для дальнейшего их использования. Приведен метод моделирования широкого фронта ударной волны путем задания на границе расчетной области графика давления с требуемыми параметрами избыточного давления и временем воздействия.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** аварийные взрывные воздействия, широкий фронт ударной волны, нелинейная газодинамика, фаза сжатия, фаза разряжения, импульс ударной волны, время действия фазы сжатия, промышленные сооружения, Ambient-элементы, эйлеровы сетки, функция CONWEP

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Мкртычев О.В., Савенков А.Ю. Методы моделирования фронта воздушной ударной волны для расчета промышленного сооружения // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 223–234. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.223-234

## Methods of simulating the front of the air shock wave for calculating the industrial structure

Oleg V. Mkrtychev, Anton Y. Savenkov

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

### ABSTRACT

**Introduction.** The paper considers existing methods of simulating a wide front of an air shock wave for solving problems of shock wave interaction with an installation using gas-dynamic methods. When solving the problem of the air shock wave interaction with an installation in a dynamic setting, it was revealed that, when simulating a wide front of a distant explosion using point explosions, it is possible to obtain an underestimated time of the shock wave action. This results in a downward bias of loads to the installation. Thus, the loads obtained in this case do not correspond to the loads for which it is necessary to carry out the calculation of industrial installations protected from shock waves in accordance with domestic and international regulatory documents. To eliminate this drawback, another approach is proposed. It consists in setting the load on the computational region in the form of a pressure graph with specified parameters of overpressure and exposure time.

**Materials and methods.** The interaction of the shock wave front with the installation is carried out using numerical simulation in a nonlinear dynamic setting using gas-dynamic methods in the LS-DYNA software package.

**Results.** The following analyses were conducted in the scope of the study: an analysis of existing methods of forming the wide shock wave front of the distant explosion and an analysis of the parameters of the shock wave during the formation of the wide shock wave front of the distant explosion by setting the pressure graph with the specified parameters of the overpressure and the exposure time.

**Conclusions.** The result of the analysis of methods for numerical simulation of the interaction of the air shock wave wide front with the installation showed that simulation of the explosion source in the form of volume elements and simulation of the shock wave using the CONWEP function of the LS-DYNA software package have disadvantages. These disadvantages do not allow obtaining the main parameters of the shock wave for the further use. A method for modeling the wide shock wave front is given by setting a pressure graph at the boundary of the computational region with the required overpressure parameters and exposure time.

**KEY WORDS:** emergency blast effects, wide shock wave front, nonlinear gas dynamics, compression phase, vacuum phase, shock wave impulse, compression phase exposure time, industrial installations, ambient elements, Eulerian nets, CONWEP-function

**FOR CITATION:** Mkrtychov O.V., Savenkov A.Y. Methods of simulating the front of the air shock wave for calculating the industrial structure. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(2):223-234. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.223-234 (rus.).

## ВВЕДЕНИЕ

В современном строительстве для всех зданий и сооружений в обязательном порядке должны выполняться требования Федерального закона № 68-ФЗ «О защите населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». В связи с этим для некоторых промышленных сооружений рассматриваются аварийные взрывные воздействия. К таким сооружениям могут относиться инфраструктурные сооружения атомных электростанций, космодромов, убежища гражданской обороны (ГО) и т.д. Согласно нормативным документам<sup>1, 2, 3</sup> а также работам [1–4] такие сооружения рассчитываются на приходящую воздушную ударную волну (далее — ВУВ) широкого фронта. Широким фронтом ВУВ будем называть фронт сильного детонационного взрыва, эпицентр которого находится на значительном удалении от рассчитываемого сооружения (0,5–5 км). При взаимодействии с сооружением ударные волны такого взрыва имеют практически одинаковые параметры во фронте. Природой данных ударных волн могут быть чрезвычайные ситуации природного или техногенного характера и именно поэтому такие ситу-

ации рассматриваются при расчете вышеуказанных сооружений.

Как известно, ВУВ распространяется в атмосфере со сверхзвуковой скоростью в виде фазы сжатия и последующей за ней фазы разряжения (см. рис. 1). В фазе сжатия давление скачком повышается от атмосферного  $P_0$  до значения  $P_0 + \Delta P_\phi$  во фронте волны, затем за время  $\tau_+$  убывает. По окончании этого времени начинается фаза разряжения, которая проходит за время  $\tau_-$ . Динамический эффект на строительные конструкции от фазы разряжения невелик ввиду плавного нарастания отрицательного давления (время фазы разряжения в 10 и более раз дольше фазы сжатия). Поэтому для расчета конструкций наибольший интерес представляет фаза сжатия, так как именно в ней создаются наибольшие нагрузки на конструктивные элементы сооружения. Таким образом, основными параметрами при расчете сооружений на ВУВ является избыточное давление  $\Delta P_\phi$  и время действия фазы сжатия.

Согласно нормативным документам расчет сооружений I категории в границе застройки АЭС выполняется на давление во фронте 30 кПа с временем действия до 1 с. Параметры воздействия на такие сооружения также можно найти в нормах Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ)<sup>4</sup>, где профиль давления имеет продолжительность фазы сжатия 0,2–0,25 с при давлении во фронте

<sup>1</sup> ПиН АЭ-5.6-86. Нормы строительного проектирования атомных станций с реакторами различного типа. М. : Минатомэнерго РФ, 1986.

<sup>2</sup> НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97). Общие положения обеспечения безопасности атомных станций ОПБ-88/97. М. : Госатомнадзор России, 1998.

<sup>3</sup> СП 88.13330.2014. Защитные сооружения гражданской обороны. Актуализированная редакция СНиП II-11-77\*. М. : Минстрой России, 2014. 118 с.

<sup>4</sup> Оценка безопасности установок и деятельности. Общие требования безопасности, № GSR, Part 4 // Нормы МАГАТЭ по безопасности для защиты людей и охраны окружающей среды. Вена : Международное агентство по атомной энергии, 2009.

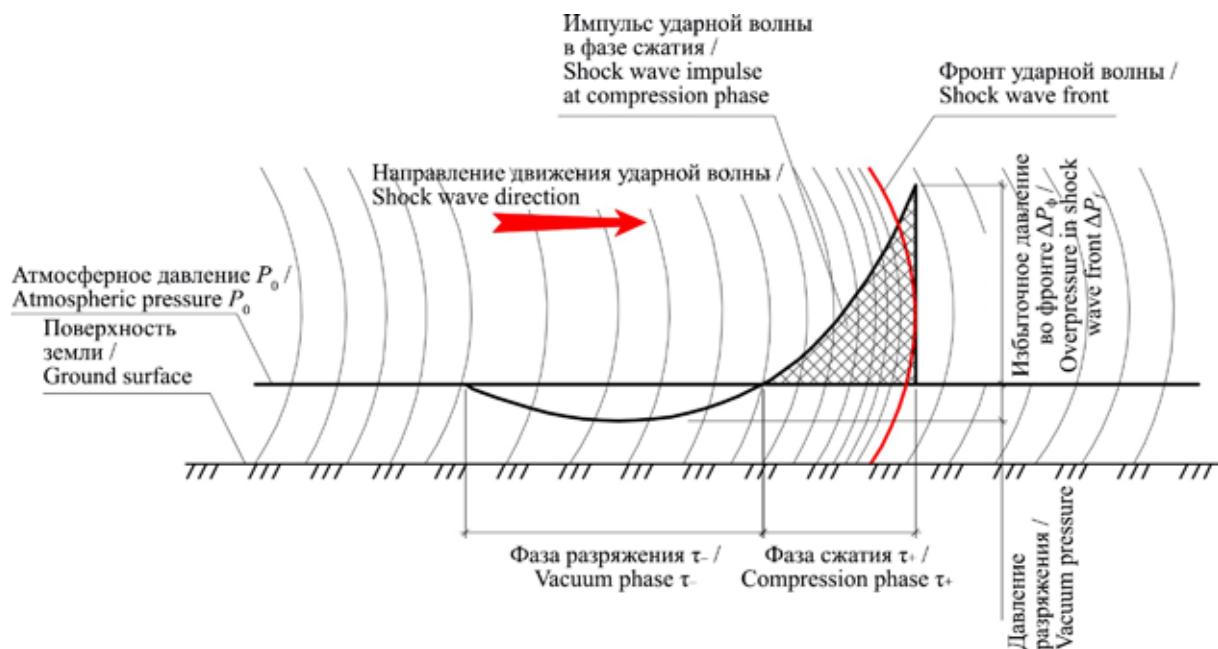


Рис. 1. График изменения давления во фронте ударной волны

Fig. 1. Graphs of pressure in shock wave front

до 30 кПа, что подчеркивает консервативность отечественных подходов. Что касается сооружений ГО на той же площадке, то их расчет выполняется на давление 200 кПа, а сооружений вне площадки границы застройки АЭС, т.е. общегражданских сооружений ГО, выполняется на давление 100 кПа. При этом время действия на такие сооружения не указывается [1].

Наиболее эффективно задачи взаимодействия ударных волн с сооружениями решаются с использованием методов газодинамики в нелинейной динамической постановке в программном комплексе LS-DYNA. Например, в такой постановке в работах [5, 6] показан расчет на возможный взрыв при террористических атаках на жилые дома, в труде [7] приведено решение задачи взаимодействия ударных волн точечных взрывов с сооружениями произвольной формы, а в работе [8] — распространение ударных волн в городской застройке. Основным принципом таких расчетов с использованием методов газодинамики является исследование взаимодействия ударной волны с сооружением, помещенным в некоторую расчетную область, элементами которой чаще всего выступают воздух при надземном или грунт при подземном сооружении.

Цель исследования — изучение существующих методов моделирования широкого фронта ВУВ для решения задачи взаимодействия ударной волны с сооружением с использованием методов газодинамики, а при недостатке методик предложение своего варианта решения проблемы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В программном комплексе LS-DYNA реализован нелинейный динамический метод, позволяющий выполнять решение задачи во временной области с применением явных схем прямого интегрирования уравнений движения.

Для описания процесса взрыва в программном комплексе LS-DYNA используется эйлеров подход<sup>5</sup>, который построен на принципе исследования поведения сред, движущихся через неподвижную расчетную сетку. При этом все параметры среды рассматриваются как функции координат и времени, что дает наилучший результат в процессе изучения поведения жидкостей или газов.

Решение газодинамической задачи в эйлеровой формулировке основывается на трех составляющих:

1) Уравнение сохранения массы:

$$\dot{\rho} + \rho \operatorname{div}(v) = 0, \quad (1)$$

где  $\dot{\rho}$  — производная плотности по времени;  $v$  — вектор скорости.

2) Уравнение сохранения количества движения:

$$\dot{v} = f - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad}(p), \quad (2)$$

где  $\dot{v}$  — вектор ускорения заданной частицы среды, при движении в пространстве среды;  $f$  — вектор

<sup>5</sup> LS-DYNA. Keyword user's manual. 2017. Vol. I. Version 971. Livermore Software Technology Corporation (LSTC). URL: <https://www.dynasupport.com/manuals/ls-dyna-manuals/ls-dyna-manual-r-8.0-vol-iii>

массовых сил, отнесенный к единице массы;  $p$  — давление.

3) Уравнение сохранения энергии:

$$\dot{E} + vgrad(E) - \frac{p}{\rho^2}(\dot{\rho} + vgrad(\rho)) = 0, \quad (3)$$

где  $E$  — внутренняя энергия газа, отнесенная к единице массы.

Воздушное пространство описывается полиномиальным уравнением состояния идеального газа:

$$p = C_0 + C_1\mu + C_2\mu^2 + C_3\mu^3 + (C_4 + C_5\mu + C_6\mu^2)E_{ipv0}, \quad (4)$$

$$\mu = \frac{\rho}{\rho_0} - 1, \quad (5)$$

где  $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$  — безразмерные константы полиномиального уравнения, принимаются по справочным данным;  $E_{ipv0}$  — удельная начальная внутренняя энергия газа, определяемая по формуле:

$$E_{ipv0} = \rho_0 C_v T, \quad (6)$$

где  $C_v$  — удельная теплоемкость газа при постоянном объеме;  $T$  — начальная температура газа;  $\rho$  — текущая плотность газа;  $\rho_0$  — плотность газа в начальном состоянии;

В LS-DYNA решение газодинамической задачи в эйлеровой формулировке выполняется с помощью метода конечных разностей [9]. Для аппроксимации уравнений в работе использован метод Годунова второго порядка точности по пространству [10]. Интегрирование уравнений по времени осуществляется с помощью явной схемы второго порядка точности (метод центральных разностей) с соблюдением условия устойчивости решения по критерию Куранта.

Среди существующих методик моделирования нагрузок для решения задачи взаимодействия ударной волны с сооружением [5–8, 11–24] с использованием методов газодинамики, можно отметить, что эти методы используют точечные взрывы в двух вариантах:

Моделирование взрыва производится с помощью взрывчатого вещества, заключенного в рамки одного или нескольких объемных конечных элементов [5–8, 11, 13–15, 17, 20–24]. Такой метод позволяет получать параметры взрыва в любой точке фронта ударной волны. Но расстояние от эпицентра взрыва до сооружения, как правило, не большое, так как при больших расстояниях время задачи существенно увеличивается, а задание какого-либо сильного взрыва с формированием широкого фронта от приходящего дальнего взрыва, делает задачу в данной постановке вовсе не выполнимой.

Формирование нагрузок с помощью функции CONWEP<sup>5</sup> и использование Ambient-элементов. Функция CONWEP является реализацией экспериментальной модели Кингери и Бэлмаша (Kingery and Bulmash) для ВУВ, которая была получена с использованием компиляции результатов тысяч эксперимен-

тов с точечными воздушными и наземными взрывами. Данную функцию многие авторы [11, 16, 18, 19] используют в сочетании с Ambient-элементами для получения процесса взаимодействия с различными конструктивными элементами сооружений. Суть этого подхода заключается в том, что только воздух, непосредственно окружающий конструкции, должен быть смоделирован с помощью эйлеровых сеток, а эффекты взрыва применяются к внешней поверхности этого воздушного слоя (Ambient-элементы) с дальнейшим преобразованием ее в данные термодинамического состояния воздуха. В таком подходе нет необходимости моделировать взрывчатое вещество или воздух между взрывчатым веществом (далее — ВВ) и конструкциями, а для эмпирических уравнений требуется только задание массы заряда и его положения относительно конструкции.

Так как промышленные сооружения, защищенные от ВУВ, в основном рассчитываются на приходящий к сооружениям широкий фронт, то ставится вопрос о том, возможно ли использование этих двух подходов для их расчета? По указанным недостаткам первого подхода можно отметить, что первый все же имеет более эффективное применение только для точечных взрывов небольшой мощности. Второй метод рассмотрим более подробно.

В работе [12] указывается, что использование функции CONWEP дает хорошую картину взаимодействия ударной волны с сооружением, но полученное время фазы сжатия имеет небольшие значения  $\tau_+ = 0,027$  с. Возможно, это связано с небольшим расстоянием (40 м) от эпицентра взрыва. Поэтому рассмотрим, как влияет изменение расстояния от эпицентра взрыва до сооружения на время действия фазы сжатия ударной волны, потому что, как известно, продолжительность фазы сжатия увеличивается по мере увеличения расстояния от места взрыва.

Для этого рассмотрим задачу о прохождении фронта ВУВ, генерируемого с помощью функции CONWEP, через призму с произвольными размерами  $15 \times 15 \times 9$  м (рис. 2).

Расчетная область представляет собой объем воздуха с начальными параметрами, соответствующими нормальным атмосферным условиям: плотностью  $\rho_0 = 1,225 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; температурой  $T = 298,15 \text{ К}$ ; статическим давлением  $E_0 = 101\,325 \text{ Па}$ ; теплоемкостью  $Cp = 1004 \text{ Дж}\cdot\text{К}/\text{кг}$ , коэффициенты  $C_0 = C_1 = C_2 = C_3 = C_6 = 0$ ,  $C_4 = C_5 = 0,4$  [25, 26]. Взрывчатое вещество ТНТ зададим массой 3000, 45 000, 150 000 кг при расстоянии до контрольной точки Т1 40, 100, 150 м соответственно. Массы и расстояния подобраны таким образом, чтобы давление во фронте во всех трех случаях было бы одинаковым. Нижняя граница призмы имеет жесткое закрепление. На внешних границах расчетной области приме-

нены неотражающие граничные условия [27], обеспечивающие выход давления за границы области. Давление измеряется в контрольной точке T1.

Принципиальная схема расчетной модели представлена на рис. 2.

В результате расчета получены графики давления в контрольной точке T1 (см. рис. 3) для трех масс ВВ и расстояний от эпицентра взрыва. Время действия фазы сжатия для взрыва на расстоянии 40 м составило 0,027 с. На расстоянии 100 м время увеличилось до 0,04 с. При дальнейшем увеличении

расстояния до 150 м время также составило 0,04 с. Из чего можно сделать вывод, что при дальнейшем увеличении расстояния время фазы сжатия не изменится. Это объясняется использованием в функции CONWEP результатов эмпирических данных точечных взрывов, для которых характерно очень короткое, порядка сотых долей секунды, время действия.

В результате анализа вышеописанных методов моделирования фронта ударной волны можно сделать вывод о том, что оба метода не могут быть применены для описания широкого фронта приходящей ударной

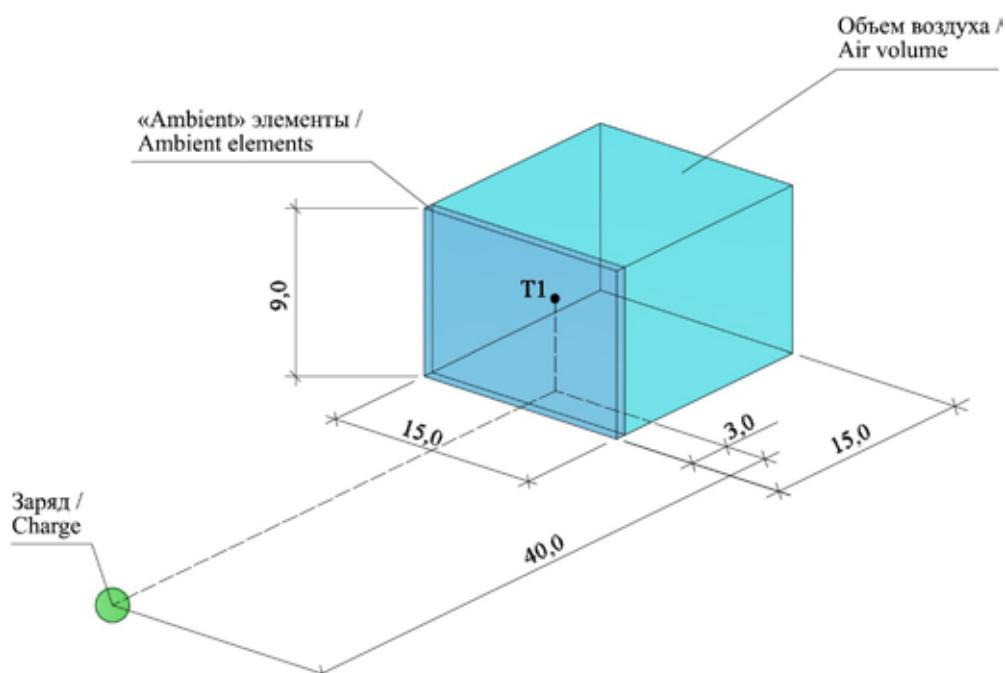


Рис. 2. Схема расчетной модели для функции CONWEP

Fig. 2. Calculation model for CONWEP function

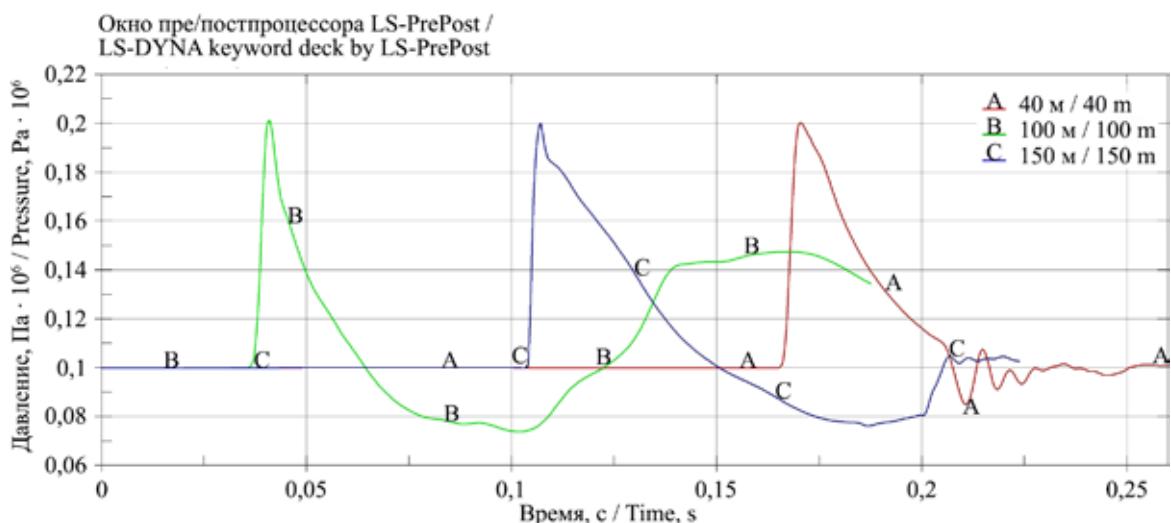


Рис. 3. Графики изменения давления  $\Delta P_0$  во времени в точке T1

Fig. 3. Pressure graphs  $\Delta P_0$  over time at the point T1

волны с параметрами во фронте, соответствующим требуемым в отечественных и мировых нормативных документах. Поэтому появляется необходимость в других методах задания нагрузки на границу расчетной области и в данной работе предлагается метод моделирования с помощью задания на границе расчетной области графика с заданными параметрами избыточного давления и временем действия.

Рассмотрим применение данного метода к расчетной области вышеуказанного примера. Только

на границе расчетной области будем прикладывать нагрузку в виде графика (рис. 5) с давлением во фронте 30 кПа и временем действия фазы сжатия  $\tau_+ = 0,25$  с. Такие параметры соответствуют нагрузкам, указанным в нормах<sup>4</sup> для проектирования зданий АЭС. В центр расчетной области поместим сооружение размером  $8 \times 8 \times 6$  м, моделируемое объемными твердыми телами.

Принципиальная схема расчетной модели представлена на рис. 4.

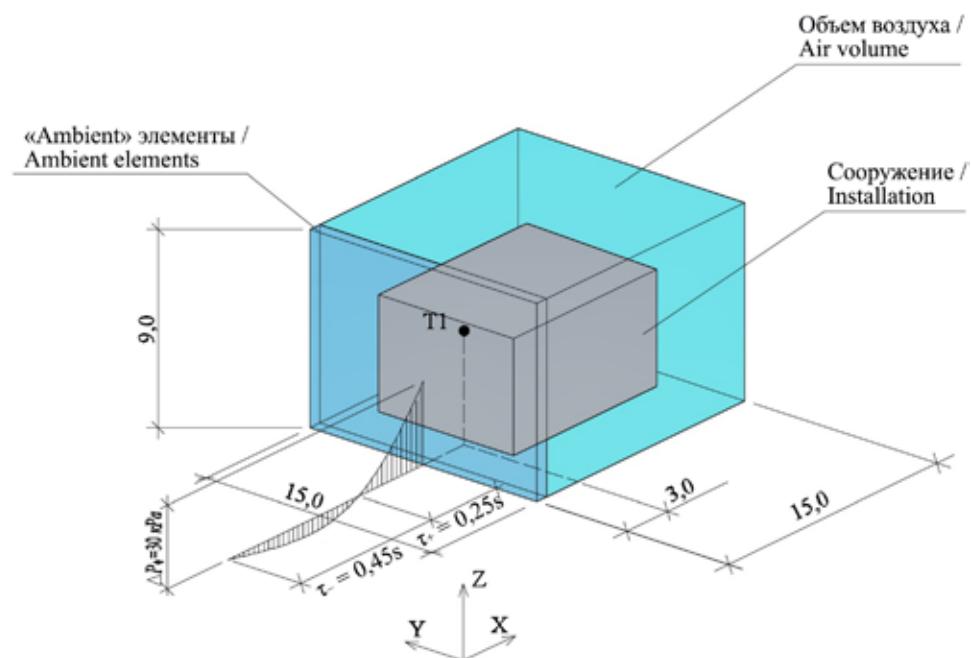


Рис. 4. Схема расчетной модели при задании нагрузки в виде графика давления

Fig. 4. Calculation model when setting the load in the form of pressure graph

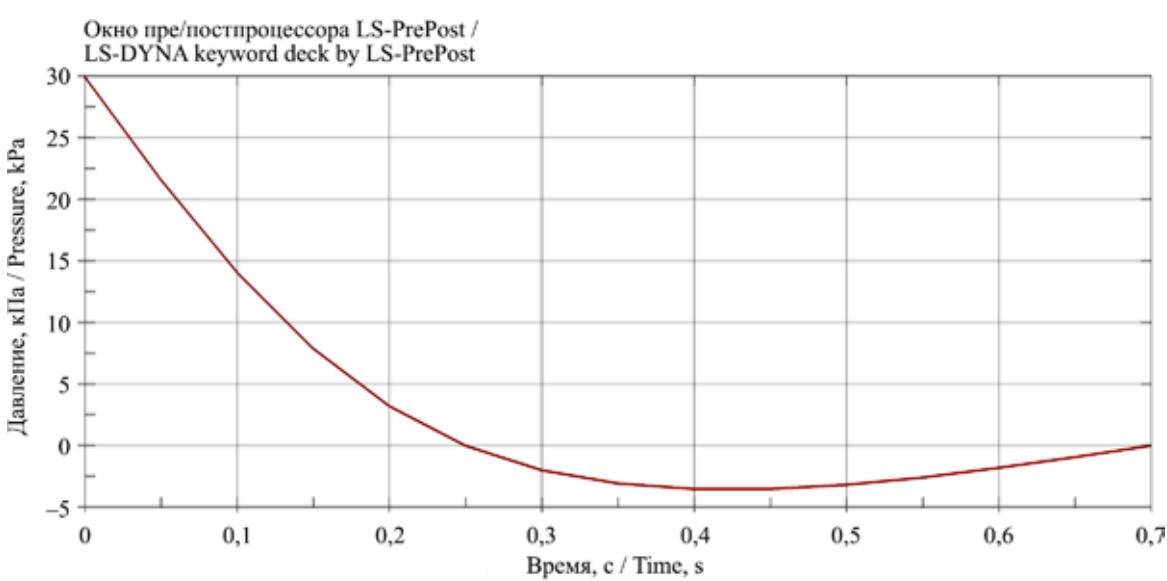


Рис. 5. График изменения давления  $\Delta P_f$  во времени прикладываемый к границе расчетной области

Fig. 5. Pressure graph  $\Delta P_f$  over time applied to the computational region

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате сравнения исходного воздействия (рис. 5) с графиком давления в контрольной точке T1 (рис. 6) показано, что давление в расчетную область передается без искажений. По изополям давлений

на рис. 7–9 можно увидеть отражение, дифракцию, и последующее схлопывание волн за сооружением, т.е. полную картину взаимодействия БУВ с сооружением. На рис. 10 показаны графики давления на различных сторонах сооружения.

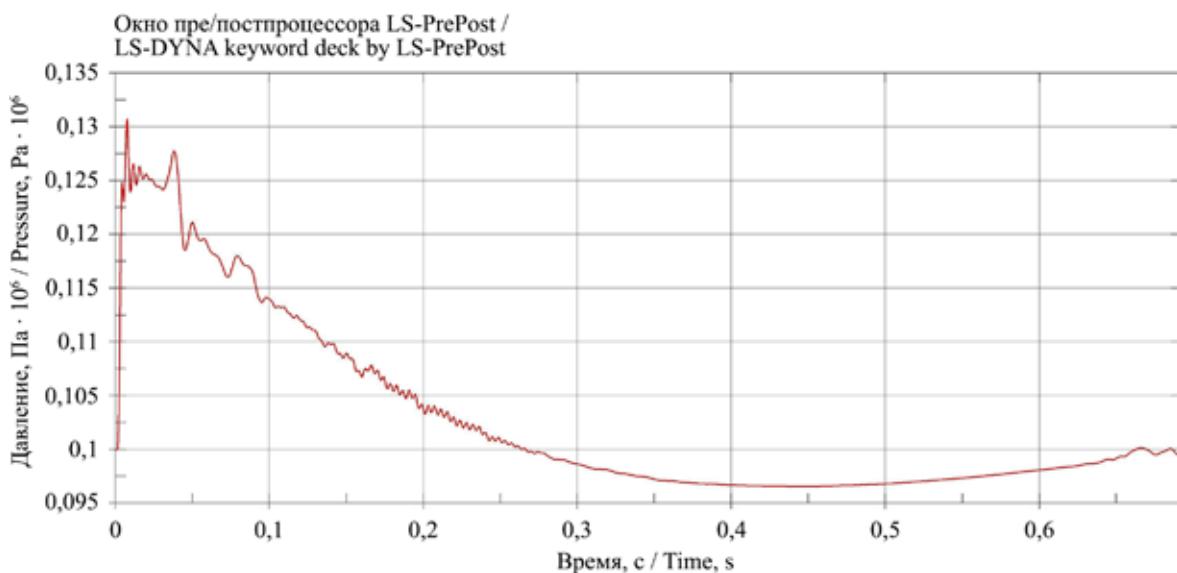


Рис. 6. Графики изменения давления  $\Delta P_{\phi}$  во времени в точке T1

Fig. 6. Pressure graphs  $\Delta P_{\phi}$  over time at the point T1

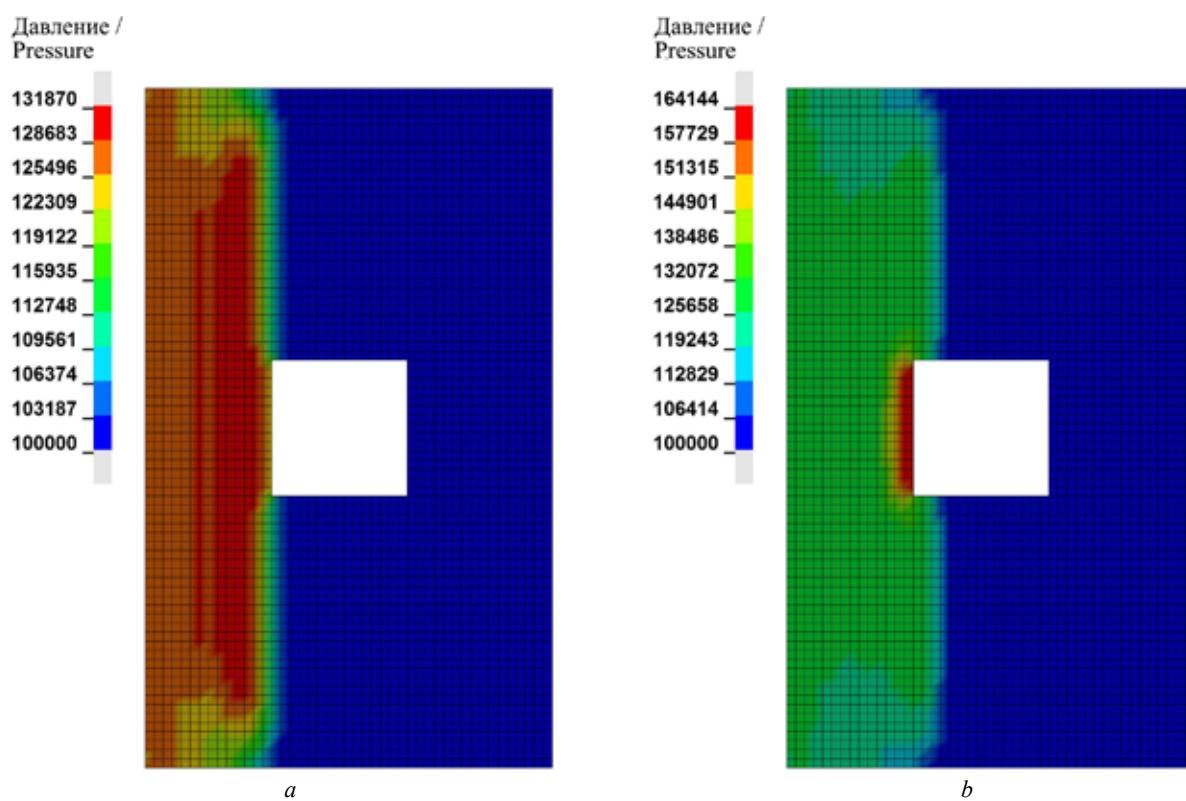
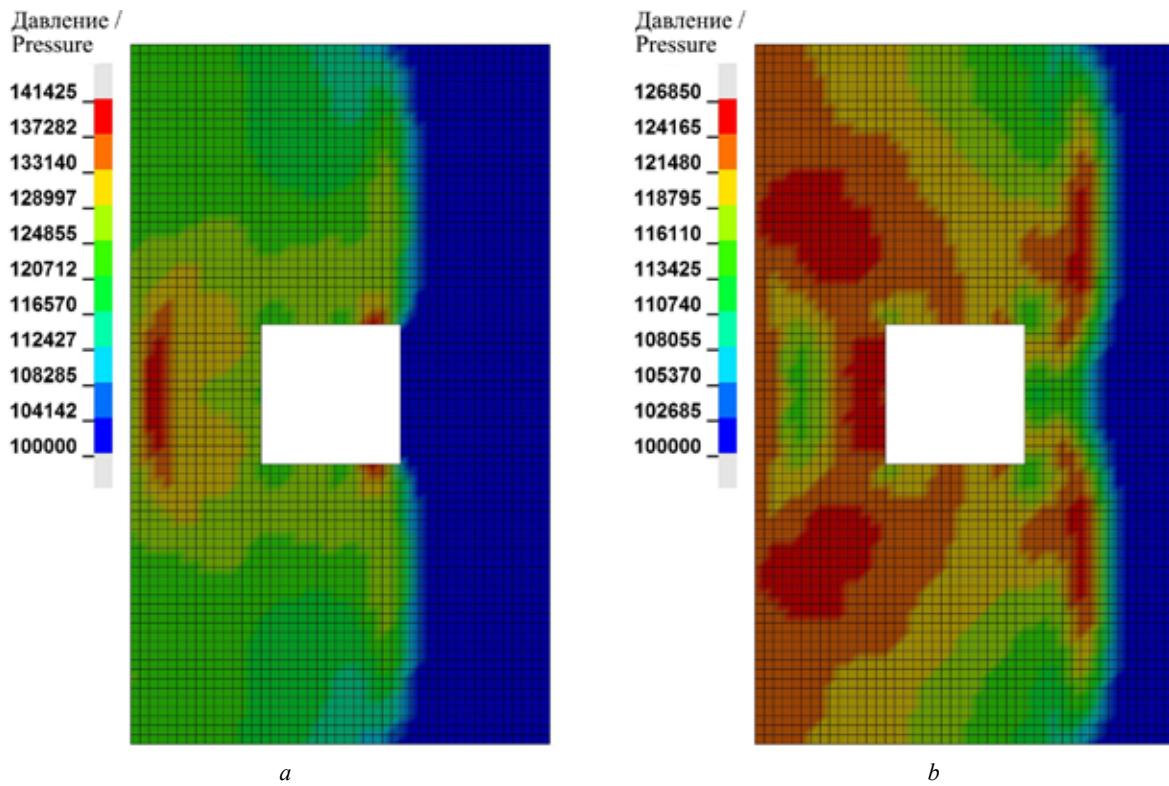


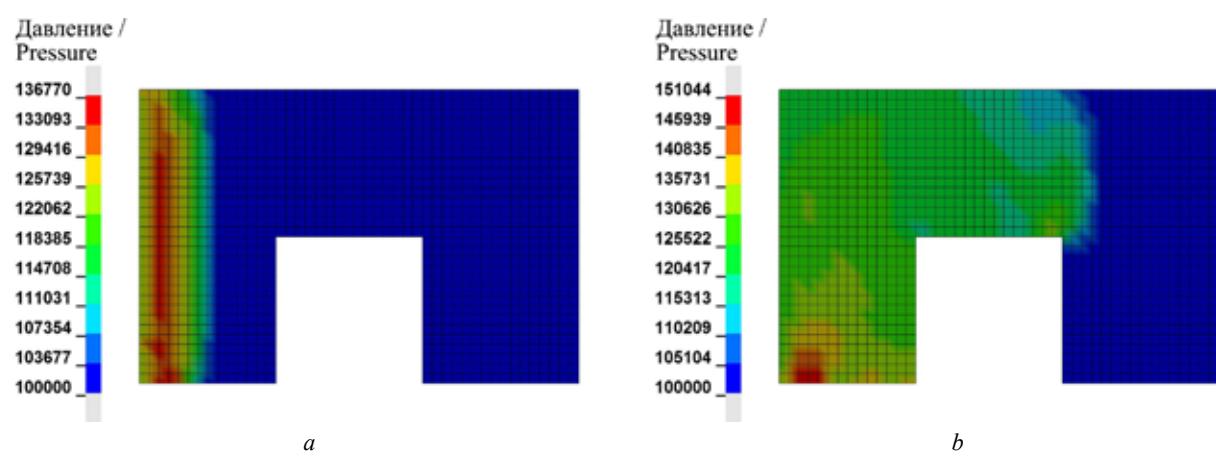
Рис. 7. Изополя давлений на высоте 4 м от поверхности земли, Па, (вид сверху), в моменты времени: а — 0,0145 с; б — 0,018 с

Fig. 7. Pressure isofields at the height of 4m from the ground surface, Pa, (view from above) at time points: a — 0.0145 s; b — 0.018 s



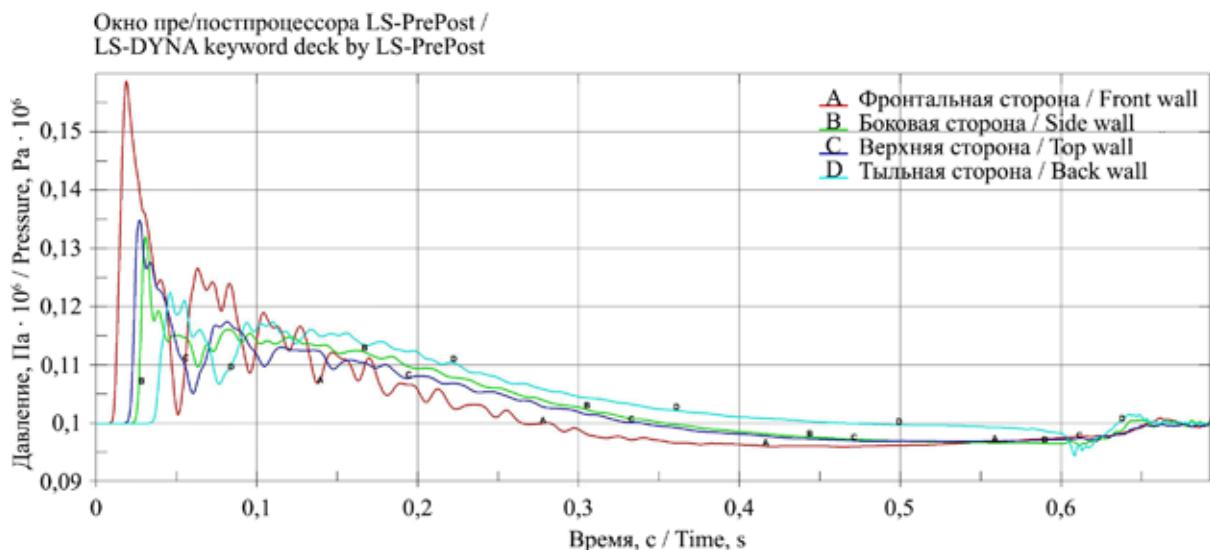
**Рис. 8.** Изополя давлений на высоте 4 м от поверхности земли, Па, в моменты времени: *a* — 0,032 с; *b* — 0,04 с

**Fig. 8.** Pressure isofields at the height of 4m from the ground surface, Pa, (view from above) at time points: *a* — 0.032 s; *b* — 0.04 s



**Рис. 9.** Изополя давлений (в плоскости XOZ по центру сооружения), Па, в моменты времени: *a* — 0,012 с; *b* — 0,032 с

**Fig. 9.** Pressure isofields, Pa, (in the plane  $XOZ$  at the centre of the installation) at time points: *a* — 0.012 s; *b* — 0.032 s



**Рис. 10.** Графики изменения давления  $\Delta P_\phi$  во времени, полученные на фронтальной, боковой, верхней и тыльной сторонах сооружения

**Fig. 10.** Pressure graphs  $\Delta P_\phi$  over time obtained on front, side, top and back walls of installation

## ВЫВОДЫ

В результате сравнительного анализа существующих методов моделирования широкого фронта при решении задачи взаимодействия ВУВ с сооружением в газодинамической постановке, можно сделать выводы о том, что, действительно, при точечных взрывах можно получить короткое, порядка сотых долей секунды, время действия нагрузки. Таким образом можно получить более низкие нагрузки на сооружение, по сравнению с нагрузками, указанными в нормах проектирования промышленных сооружений. Поэтому предложен метод, который заключается в задании графика давления на грани-

це расчетной области со всеми необходимыми параметрами во фронте волны ( $\Delta P_\phi, \tau$ ) в соответствии с действующими нормативными документами. Также такой метод показал достаточно удовлетворительную картину взаимодействия ударных волн с сооружением, соответствующую действительной картине дифракции.

Кроме этого, проведенное исследование демонстрирует, что с совершенствованием современных методов моделирования, в которых все чаще используются методы динамики сооружения, необходимо также и совершенствование нормативных документов<sup>3</sup>, где, например, необходимо дать указания о времени действия нагрузок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бирбраер А.Н., Роледер А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. СПб. : Издательство Политехнического университета, 2009. 593 с.
2. Саргсян А.Е. Динамика и сейсмостойкость сооружений атомных станций. Саров : РФЯЦ–ВНИИЭФ, 2013. 550 с.
3. Растворгувев Б.С., Плотников А.И., Хуснутдинов Д.З. Проектирование зданий и сооружений при аварийных взрывных воздействиях. М. : Изд-во АСВ, 2007. 152 с.
4. Bryukhan F. Consideration of hazardous and especially hazardous hydrometeorological impacts in design of buildings and structures of nuclear power plants // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 86. P. 04005. DOI: 10.1051/matecconf/20168604005
5. Мкртычев О.В., Дорожинский В.Б. Анализ подходов к определению параметров взрывного воздействия // Вестник МГСУ. 2012. № 5. С. 45–49. DOI: 10.22227/1997-0935.2012.5
6. Мкртычев О.В., Дорожинский В.Б., Лазарев О.В. Расчет конструкций железобетонного здания на взрывные нагрузки в нелинейной динамической постановке // Вестник МГСУ. 2011. № 4. С. 243–247.
7. Павлов А.С. Численное моделирование взрывных воздействий на здания и сооружения про-

извольной формы // Academia. Архитектура и строительство. 2017. № 3. С. 108–112.

8. Вальгер С.А. Создание вычислительных технологий для расчета ветровых и ударно-волновых воздействий на конструкции : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск, 2016. 16 с.

9. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. М. : Стройиздат, 1982. 447 с.

10. Van Leer B. Towards the ultimate conservative difference scheme. V. A second-order sequel to Godunov's method // Journal of Computational Physics. 1979. Vol. 32. Issue 1. Pp. 101–136. DOI: 10.1016/0021-9991(79)90145-1

11. Мкртычев О.В., Савенков А.Ю. Численное моделирование фронта воздушной ударной волны при взрыве в воздухе и над землей в программном комплексе LS-DYNA // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Т. 14. № 6. С. 467–474. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-6-467-474

12. Савенков А.Ю., Мкртычев О.В. Нелинейный расчет железобетонного сооружения на воздействие воздушной ударной волны // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 1. С. 33–45. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.1.33-45

13. Новожилов Ю.В. Методики моделирования взрывов в LS-DYNA // XIV Международная конференция пользователей CADFEM/ANSYS, Санкт-Петербург, 2017.

14. Илюшкин М.В. Материалы для подготовки курса лекций для повышения квалификации специалистов по моделированию процессов ОМД. Ульяновск, 2017. 125 с. URL: <http://tzshp.ru>

15. Schwer L., Teng H., Souli M. LS-DYNA air blast techniques: comparisons with experiments for close-in charges // 10th European LS-DYNA Conference, Würzburg, Germany, 2015.

16. Bento Rebelo H., Cismașiu C. A comparison between three air blast simulation techniques in LS-DYNA // 11th European LS-DYNA Conference, Salzburg, Austria, 2017.

17. Andrade F., Feucht M. A comparison of damage and failure models for the failure prediction of dual-phase steels // 11th European LS-DYNA Conference, Salzburg, Austria, 2017.

18. Zahra S. Tabatabaei, Jeffery S. Volz. A comparison between three different blast methods in LS-

DYNA®: LBE, MM-ALE, Coupling of LBE and MM-ALE // 12th International LS-DYNA® Users Conference. 2012. 10 p. URL: <https://www.dynalook.com/12th-international-ls-dyna-conference/blast-impact20-d.pdf>

19. Andrade F.X.C., Feucht M., Haufe A., Neukamm F. An incremental stress state dependent damage model for ductile failure prediction // International Journal of Fracture. 2016. Vol. 200. Issue 1–2. Pp. 127–150. DOI: 10.1007/s10704-016-0081-2

20. Goel M., Vasant M., Gupta A. An abridged review of blast wave parameters // Defence Science Journal. 2012. Vol. 62. Issue 5. Pp. 300–306. DOI: 10.14429/dsj.62.1149

21. Zhang C., Gholipour G., Mousavi A.A. Nonlinear dynamic behavior of simply-supported RC beams subjected to combined impact-blast loading // Engineering Structures. 2019. Vol. 181. Pp. 124–142. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.12.014

22. Astarlioglu S., Krauthammer T., Morency D., Tran T.P. Behavior of reinforced concrete columns under combined effects of axial and blast-induced transverse loads // Engineering Structures. 2013. Vol. 55. Pp. 26–34. DOI: 10.1016/j.engstruct.2012.12.040

23. Hong J., Fang Q., Chen L., Kong X. Numerical predictions of concrete slabs under contact explosion by modified K&C material model // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 155. Pp. 1013–1024. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.08.060

24. Qu Y., Li X., Kong X., Zhang W., Wang X. Numerical simulation on dynamic behavior of reinforced concrete beam with initial cracks subjected to air blast loading // Engineering Structures. 2016. Vol. 128. Pp. 96–110. DOI: 10.1016/j.engstruct.2016.09.032

25. Андреев С.Г., Бабкин А.В., Баум Ф.А., Имховик Н.А., Кобылкин И.Ф., Колпаков В.И. и др. Физика взрыва. 3-е изд., испр., в 2-х т. М. : Физматлит, 2004. 832 с.

26. Баженова Т.В., Гвоздева Л.Г. Нестационарные взаимодействия ударных волн. М. : Наука, 1977. 274 с.

27. Grote M.J., Sim I. On local nonreflecting boundary conditions for time dependent wave propagation // Chinese Annals of Mathematics, Series B. 2009. Vol. 30. Issue 5. Pp. 589–606. DOI: 10.1007/s11401-009-0203-5 URL: <https://www.researchgate.net/publication/225659814>

Поступила в редакцию 27 июля 2019 г.

Принята в доработанном виде 5 ноября 2019 г.

Одобрена для публикации 31 января 2020 г.

**ОБ АВТОРАХ:** Олег Вартанович Мкртычев — доктор технических наук, профессор кафедры сопротивления материалов; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

**ситет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе д. 26; SPIN-code: 9676-4986, Scopus: 56449249100, ResearcherID: Q-2370-2017; MkrtychevOV@mgsu.ru;

**Антон Юрьевич Савенков** — аспирант кафедры сопротивления материалов; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе д. 26; SPIN-code: 8652-8088; sopromat@mgsu.ru.

## REFERENCES

1. Birbraer A.N., Roleder A.J. *Extreme actions on structures*. St. Petersburg, Publishing House of the Politecnical University, 2009; 594. (rus.).
2. Sargsyan A.E. *Dynamics and seismic resistance of nuclear power plants*. Sarov, RFYATS-VNIIEF Publ., 2013; 550. (rus.).
3. Rastorguev B.S., Plotnikov A.I., Khusnutdinov D.Z. *Design of buildings and structures exposed to emergency blast effects*. Moscow, ASV Publ., 2007; 152. (rus.).
4. Bryukhan F. Consideration of hazardous and especially hazardous hydrometeorological impacts in design of buildings and structures of nuclear power plants. *MATEC Web of Conferences*. 2016; 86:04005. DOI: 10.1051/matecconf/20168604005
5. Mkrtychev O.V., Dorozhinskiy V.B. Analysis of approaches to identification of parameters of blast effects. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2012; 5:45-49. DOI: 10.22227/1997-0935.2012.5 (rus.).
6. Mkrtychev O.V., Dorozhinskiy V.B., Lazarev O.V. The calculation of reinforced concrete buildings constructions on the explosive loads in the nonlinear dynamic formulation. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2011; 4:243-247. (rus.).
7. Pavlov A.S. Numerical method of calculation of blast loads pressure to structures with complex geometry shapes. *Academia. Architecture and Construction*. 2017; 3:108-112. (rus.).
8. Walger S.A. *Creation of computing technologies for calculating wind and shock-wave effects on structures : auto-ref. diss ... cand. physical and mathematical sciences*. Novosibirsk, 2015; 16. (rus.).
9. Bathe K., Wilson E. *Numerical methods in finite element analysis*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1982; 447. (rus.).
10. Van Leer B.J. Towards the ultimate conservative difference scheme. V. A second-order sequel to Godunov's method. *Journal of Computational Physics*. 1979; 32(1):101-136. DOI: 10.1016/0021-9991(79)90145-1
11. Mkrtychev O.V., Savenkov A.Y. Numerical simulation of the front of an air shock wave in a ground and air explosion in the software package LS-DYNA. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2018; 14(6):467-474. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-6-467-474 (rus.).
12. Savenkov A.Y., Mkrtychev O.V. Nonlinear calculation of reinforced concrete structures to the impact of the air shock wave. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2019; 14(1):33-45. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.1.33-45 (rus.).
13. Novozhilov Yu.V. Explosion modeling techniques in LS-dyna. *XIV International Conference of Users CAD-FEM/ANSYS*, St. Petersburg, 2017. (rus.).
14. Ilyushkin M.V. *Materials for the preparation of a course of lectures to improve the skills of specialists in the modeling of OMD processes*. Ulyanovsk, 2017; 125. URL: <http://tzshp.ru> (rus.).
15. Schwer L., Teng H., Souli M. LS-DYNA air blast techniques: comparisons with experiments for close-in charges. *10th European LS-DYNA Conference*. Würzburg, Germany, 2015.
16. Bento Rebelo H., Cismașiu C. A comparison between three air blast simulation techniques in LS-DYNA. *11th European LS-DYNA Conference*. 2017. (rus.).
17. Andrade F., Feucht M. A Comparison of damage and failure models for the failure prediction of dual-phase steels. *11th European LS-DYNA Conference*. Salzburg, Austria, 2017.
18. Zahra S. Tabatabaei, Jeffery S. Volz. A Comparison between three different blast methods in LS-DYNA®: LBE, MM-ALE, coupling of LBE and MM-ALE. *12th International LS-DYNA® Users Conference*. 2012; 10. URL: <https://www.dynalook.com/12th-international-ls-dyna-conference/blast-impact20-d.pdf>
19. Andrade F.X.C., Feucht M., Haufe A., Neukamm F. An incremental stress state dependent damage model for ductile failure prediction. *International Journal of Fracture*. 2016; 200(1-2):127-150. DOI: 10.1007/s10704-016-0081-2
20. Goel M., Vasant M., Gupta A. An abridged review of blast wave parameters. *Defence Science Journal*. 2012; 62(5):300-306. DOI: 10.14429/dsj.62.1149
21. Zhang C., Gholipour G., Mousavi A.A. Non-linear dynamic behavior of simply-supported RC beams subjected to combined impact-blast loading. *Engineering Structures*. 2018; 181:124-142. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.12.014
22. Astarlioglu S., Krauthammer T., Morency D., Tran T.P. Behavior of reinforced concrete columns un-

- der combined effects of axial and blast-induced transverse loads. *Engineering Structures*. 2013; 55:26-34. DOI: 10.1016/j.engstruct.2012.12.040
23. Hong J., Fang Q., Chen L., Kong X. Numerical predictions of concrete slabs under contact explosion by modified K&C material model. *Construction and Building Materials*. 2017; 155:1013-1024. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.08.060
24. Qu Y., Li X., Kong X., Zhang W., Wang X. Numerical simulation on dynamic behavior of reinforced concrete beam with initial cracks subjected to air blast loading. *Engineering Structures*. 2016; 128:96-110. DOI: 10.1016/j.engstruct.2016.09.032
25. Andreev S.G., Babkin A.V., Baum F.A., Imhovik N.A., Kobylkin I.F., Kolpakov V.I. et al. *Physics of a Blast*. 3rd ed., corr., in 2 vol. Moscow, Fizmatlit Publ., 2004; 832. (rus.).
26. Bazhenova T.V., Gvozdeva L.G. *Non-stationary shock wave interactions*. Moscow, Science Publ., 1977; 274. (rus.).
27. Grote M.J., Sim I. On local nonreflecting boundary conditions for time dependent wave propagation. *Chinese Annals of Mathematics, Series B*. 2009; 30(5):589-606. DOI: 10.1007/s11401-009-0203-5 URL: <https://www.researchgate.net/publication/225659814>

*Received July 27, 2019.*

*Adopted in a revised form on November 5, 2019.*

*Approved for publication on January 31, 2020.*

**BIONOTES:** **Oleg V. Mkrtychov** — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Material Resistance; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 9676-4986, Scopus: 56449249100, ResearcherID: Q-2370-2017; [MkrtychevOV@mgsu.ru](mailto:MkrtychevOV@mgsu.ru);

**Anton Y. Savenkov** — postgraduate student of the Department of Materials Resistance; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 8652-8088; [sopromat@mgsu.ru](mailto:sopromat@mgsu.ru).

## К проблеме формирования дисперсного состава и свойств высокопрочного бетона

Е.Г. Величко, Ю.С. Шумилина

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

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Существенными недостатками высокопрочных бетонов, применяемых в настоящее время, являются высокий абсолютный расход вяжущего вещества, а также низкий удельный расход его на единицу прочности. Многокомпонентность с целью многоуровневой оптимизации дисперсного состава относится к основным методам производства высокопрочных бетонов с минимальным содержанием портландцемента и высокими физико-механическими показателями. Получение таких бетонов может быть связано с созданием плотной высоконаполненной твердой фазы упаковки составляющих компонентов на различных структурных уровнях и низкого водоцементного отношения.

**Материалы и методы.** Для изучения свойств и структуры бетона использовались две фракции мелкого заполнителя, гранитно-габбровый щебень фракции 5–10 мм, портландцемент класса ЦЕМ I 42,5Н, тонкодисперсный доменный гранулированный шлак, метакаолин, микрокремнезем, высокодисперсная фракция цемента, суперпластификатор Glenium 430 и высоковалентный ускоритель твердения. Форма и размер дисперсных частиц компонентов определялись лазерным анализатором, подвижность бетонной смеси по ГОСТ 10181-2014, прочность бетона на сжатие по ГОСТ 10180-2012. Структура цементного камня устанавливалась с помощью термографического и рентгенофазового методов анализа.

**Результаты.** Прочность бетона с оптимизированным дисперсным составом, суперпластификатором и высоковалентным ускорителем твердения, приготовленного с использованием самоуплотняющихся бетонных смесей, в возрасте 1 сут после твердения в нормальных условиях составила 58, 67, 77, а в 28 сут — 150, 186, 219 МПа при расходе цемента соответственно 650, 710, 770 кг/м<sup>3</sup>.

**Выводы.** Многоуровневая дисперсно-гранулометрическая в комплексе с химической модификацией состава самоуплотняющихся бетонных смесей представляет собой одно из эффективных направлений исследования и синтеза высокопрочных бетонов с минимальным расходом портландцемента и высокими физико-механическими показателями. Целесообразным является использование нескольких структурных уровней частиц клинкерного компонента.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** высокопрочный бетон, самоуплотняющийся бетон, дисперсный состав, пульповая реакция, модификаторы, тонкодисперсный шлак, микрокремнезем, суперпластификатор

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Величко Е.Г., Шумилина Ю.С. К проблеме формирования дисперсного состава и свойств высокопрочного бетона // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 235–243. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.235-243

## To the problem of forming the high-strength concrete dispersed composition and properties

Evgeniy G. Velichko, Yuliya S. Shumilina

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

### ABSTRACT

**Introduction.** Significant disadvantages of currently used high-strength concrete are the high absolute consumption of binder as well as its low specific consumption per unit of strength. Including many components with the goal of multi-level optimization of the dispersed composition is one of the main methods for producing high-strength concretes with a minimum content of cement and high physical and mechanical properties. Obtaining such concretes can be connected with creating a dense high-aggregated solid phase of the constituents at various structural levels and low water-to-cement ratio.

**Materials and methods.** The following components were used to study the properties and structure of the concrete: two fine aggregate fractions, granite-gabbro crushed stone of 5 to 10 mm fraction, portland cement of the CEM I 42.5N class, finely dispersed blast furnace granulated slag, metakaolin, silica fume, high-dispersed cement fraction, Glenium 430 superplasticizer, and high-valent hardening accelerator. The shape and size of the dispersed particles of the components were determined using a laser analyzer, the flowability of the concrete mixture was evaluated as per GOST 10181-2014 standard, while the concrete compressive strength following GOST 10180-2012 standard. The cement stone structure was studied using derivatographic analysis and x-ray phase analysis methods.

**Results.** For concrete with an optimized dispersed composition, superplasticizer and high-valent hardening accelerator prepared using self-compacting concrete mixtures, the concrete strength at the age of 1 day after hardening was of 58,67 and

77 MPa and at the age of 28 days after hardening was of 150, 186 and 219 MPa under normal conditions and with cement consumption of 650, 710 and 770 kg/m<sup>3</sup>, respectively.

**Conclusions.** Multi-level dispersion and granulometric modification in combination with chemical modification of the composition of self-compacting concrete mixtures is one of the most productive directions of research and synthesis of high-strength concrete with minimum consumption of Portland cement and high physical and mechanical properties. It is advisable to use several structural levels of the clinker component particles.

**KEY WORDS:** high-strength concrete, self-compacting concrete, dispersed composition, pozzolanic reaction, modifiers, fine slag, silica fume, superplasticizer

**FOR CITATION:** Velichko E.G., Shumilina Yu.S. To the problem of forming the high-strength concrete dispersed composition and properties. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(2):235-243. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.235-243 (rus.).

## **ВВЕДЕНИЕ**

Существенными недостатками высокопрочных бетонов, применяемых в настоящее время, являются высокий абсолютный расход вяжущего вещества, а также низкий удельный расход его на единицу прочности.

Многокомпонентность с целью многоуровневой оптимизации дисперсного состава — основное направление производства высокопрочных бетонов с минимальным содержанием портландцемента и высокими физико-механическими показателями. Получение таких бетонов может быть связано с созданием плотной высоконаполненной твердой фазы упаковки составляющих компонентов на различных структурных уровнях и низкого водоцементного отношения. Перспективным направлением для производства высокопрочных бетонов представляется использование самоуплотняющихся бетонных смесей SCC (self-compacting concrete) [1–8]. Однако при производстве самоуплотняющихся бетонов может наблюдаться ряд требований, имеющих противоречивый характер. В частности, обеспечение высокого значения показателя вязкости и низкого — текучести бетонной смеси, исключение ее водоотделения и расслоения, а также достижение высокой прочности. Очевидно, что нерасслаиваемость бетонной смеси и ее качественное самоуплотнение значимы и в основном связаны с вязкостью и предельным напряжением сдвига (текучестью) цементного теста.

Оптимальное сочетание указанных реологических свойств цементного теста облегчает выход из бетонной смеси вовлеченного в процессе приготовления воздуха, и способствует ее качественному уплотнению. Повышение этих характеристик, а также снижение или предотвращение седиментационных и сегрегационных процессов обеспечивается использованием в составе бетона, кроме высоко-дисперсных и суперводоредуцирующих добавок [8–10], различных видов химических модификаторов

ров, регулирующих вязкость и текучесть бетонной смеси, а также ускорителей и замедлителей схватывания и твердения [5].

Кроме того, для обеспечения качественного самоуплотнения бетонной смеси применяются также такие технологические приемы, как снижение расхода крупного заполнителя и максимальной крупности его зерен (наиболее предпочтительный размер 5 (3)–10 мм), низкое водовяжущее отношение [10]. Эффект максимальной текучести бетонной смеси и ее самоуплотнения достигается в этом случае практически исключением контактных взаимодействий между зернами заполнителей за счет повышенных расхода цемента и доли песка в смеси заполнителей. Однако бетоны с повышенным содержанием цемента характеризуются высоким тепловыделением, значимо увеличивающим кинетическую энергию в начальный период их твердения. По этой причине фиксация частиц гидратных фаз при структурообразовании может происходить в основном в положении дальней коагуляции, обеспечивая при этом ее нежелательные значимо высокую микропористость, дефектность и снижение физико-механических свойств бетона [11–12]. Очевидно, что снижение содержания портландцемента в цементном тесте может быть получено только при частичном замещении его в составе бетона высокодисперсными минеральными добавками (тонкомолотым доменным гранулированным шлаком, золой уноса, микрокремнеземом и др.) [6, 12–18]. Замещение части цемента минеральными добавками различной дисперсности позволяет получать цементное тесто с низким предельным напряжением сдвига без седиментации, водоотделения и расслоения, а бетонную смесь с более высокой вязкостью. Важным фактором в этом случае является выбор вида, дисперсности, пущцоланической активности и энергетического состояния минеральных модификаторов, обеспечивающих высокую концентрацию твердой фазы в единице объема [2, 18, 20].

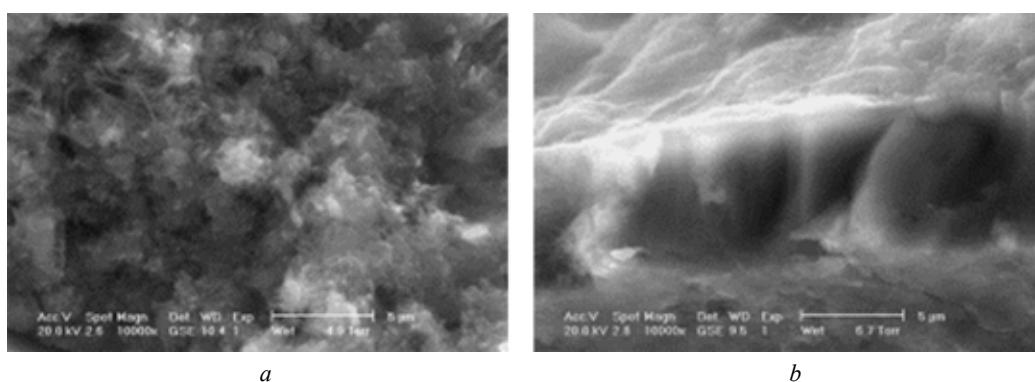
Очевидно, что максимально плотная упаковка частиц и зерен цементной системы достигается путем использования их с оптимальными дисперсностью и содержанием для каждого иерархического структурного уровня, при которых каждая последующая более тонкодисперсная фракция распределяется в основном с максимальным наполнением межчастичных или межзерновых пустот менее дисперсной [2]. Особое значение в самоуплотняющихся бетонных смесях для получения бетона высокой прочности приобретает применение высоко-дисперсных компонентов нанометрового уровня (углеродные волокна, фуллерены, условно микрокремнезем и др.). Содержание означенных компонентов вследствие высоких дисперсности и энергетического состояния, а также молекулярного отбора при структурообразовании должно быть незначительным, обеспечивающим высокие показатели реологических свойств цементного теста, плотности и прочности бетона. Такое теоретическое положение подтверждается результатами большинства исследователей настоящей проблемы (рис. 1) [20–25]. Например, исследование микроструктуры цементной матрицы мелкозернистого бетона, содержащего углеродные нановолокна в количестве 25 г/м<sup>3</sup>, показало ее очень высокую плотность.

При использовании микрокремнезема в количестве 2,5–3 %, как показали исследования настоящей работы, обычно наблюдается дентрито-подобная структура, также более плотная, чем у контрольного состава. При этом адсорбция поликарбоксилатных суперпластифицирующих добавок в цементных системах, содержащих дисперсный диоксид кремния в составе микрокремнезема, происходит преимущественно на его частицах, значимо увеличивая за счет высокой удельной поверхности суммарные силы отталкивания и пластифицирующую способность при минимальном их расходе.

Кроме того, необходимо отметить, что по условиям возможного протекания щелочной коррозии между щелочами цемента и диоксидом кремния заполнителей использование в SCC кремнийсодержащих минеральных модификаторов (микрокремнезема, доменного гранулированного шлака и др.) или других приемов, подавляющих щелочную коррозию заполнителя и улучшающих их реологические и технологические свойства, являются наиболее предпочтительными, чем известняковой и доломитовой муки, не обладающих свойством ингибиования указанного вида коррозии бетона [24–28].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение свойств и структуры бетона осуществлялось с использованием двух фракций мелкого заполнителя размером 0,315 и 0,16 мм соответственно в количестве 80 и 20 %, с использованием гранитно-габбрового щебня Куликовского месторождения Республики Карелия» фракции 5 (3-10) мм, портландцемента класса ЦEM I 42,5Н с удельной поверхностью 296 м<sup>2</sup>/кг, тонкодисперсного доменного гранулированного шлака — 453 м<sup>2</sup>/кг, метакаолина, микрокремнезема, высоко-дисперсной фракции цемента. Расход цемента, в том числе многокомпонентного в зависимости от задачи исследований варьировался в интервале 450–800 кг/м<sup>3</sup> бетона. В качестве суперпластификатора применялся Glenium 430 (ООО «БАСФ Строительные системы») в количестве 0,45–0,56 % массы цемента и высоко валентный ускоритель твердения АС в количестве 0,007 % в соответствии с правилом Шульце – Гарди [19, 20]. Применялись следующие методы исследований: форма и размер дисперсных частиц компонентов определялись лазерным анализатором, подвижность бетонной смеси по ГОСТ 10181-2014, прочность бетона на сжатие по ГОСТ 10180-2012. Структура



**Рис. 1.** Микроструктура цементной матрицы мелкозернистого бетона (снимки проф. Г.И. Яковlevа): *a* — контрольный состав; *b* — с углеродными нанотрубками (25 г/м<sup>3</sup>)

**Fig. 1.** The microstructure of fine concrete cement matrix (pictures by Prof. G.I. Yakovlev): *a* — reference composition; *b* — composition with carbon nanotubes (25 g/m<sup>3</sup>)

цементного камня изучалась применением термографические и рентгенофазового методов анализа.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследование структуры цементного камня с использованием растровой микроскопии с микронализом показали, что тонкомолотый доменный гранулированный шлак с оптимальными дисперсностью и количеством характеризуется однородным распределением (коэффициент вариации 0,5 %) его частиц в матрице многокомпонентного цементного камня. Такие параметры компонентов первого иерархического уровня микроструктуры обеспечивают высокий уровень наполнения ее твердой фазой, однородное протекание пущолановой реакции во всех микрообъемах, а также наличие реликты грубодисперской фракции частиц клинкера.

Тонкодисперсная фракция клинкерного компонента для многокомпонентного цемента использовалась с дисперсностью 890–900 м<sup>2</sup>/кг. Функциональная необходимость ее применения заключается в следующем. Во-первых — наполнение второго иерархического уровня с целью повышения концентрации твердой фазы в единице объема. Во-вторых — обеспечение однородного протекания реакции между портландитом и диоксидом кремния во всех микрообъемах цементного теста и камня. Такой механизм действия обеспечивает более однородную структуру распределения гидросиликатных фаз в каждом микрообъеме цементного камня, меньшую его дефектность и высокую прочность бетона. В-третьих — уменьшение степени гидратации частиц грубодисперской фракции клинкерного компонента, крупные прочные реликты которых внесут значимый вклад в повышение прочности цементного камня и бетона. Тонкодисперсная фракция клинкерного компонента характеризовалась содержанием частиц размером 5–8 мкм и менее в количестве до 11,3–12,5 %, а частиц — 5–30 мкм — до 60 %, практически более чем в 2 раза превышая их содержание в портландцементе промышленного производства.

В начальный период тонкодисперсные частицы клинкера в основном второго иерархического уровня структуры многокомпонентного цемента практически полностью гидратируются и в результате молекулярного отбора распределяются в виде продуктов гидратации вокруг соответствующих им по составу и строению гидратных фаз соседних более крупных частиц. В этот же период наблюдается активизация процесса гидратации минералов шлака. Слой гидросиликатного геля утолщается в наружном направлении от негидратированной поверхности частицы клинкера, поглощая кристаллы этtringита и син-

тизируя таким образом конгломератный тип микроструктуры цементного камня. Гидросульфоалюминаты кальция, являясь примесными включениями, в микроструктуре кальциево-силикатной гидратной фазы способствуют, вследствие их игловидного строения и нанометрового размера, повышению ее плотности и прочности. Очевидно, что одновременно их включение в качестве примесной фазы снижает прочность гидросиликатных новообразований цементного камня. Таким образом, вклад гидросульфоалюминатов кальция в прочность структуры цементного камня носит двойственный характер.

Гидроксид кальция, выделяющийся в результате гидратации кальциево-силикатных минералов клинкера, взаимодействует с диоксидом кремния микрокремнезема и других кремнийсодержащих добавок, в основном находящимся в аморфном состоянии, образуя прочные низкоосновные, так называемые, вторичные гидросиликаты кальция. Очевидно, что при этом наблюдается ускорение процесса гидратации минералов клинкера C<sub>3</sub>S и C<sub>2</sub>S, образующийся в результате пущолановой реакции продукт при более низкой кинетической энергии частиц гидратных фаз, и названный В. Михаэлисом гидравлит характеризуется более высокой плотностью и прочностью, за счет фиксации обозначенных частиц в основном в положении ближней коагуляции, и меньшего в 1,5–2 раза содержания в них химически связанный воды. При достаточном объеме продуктов гидратации кальциево-силикатных фаз клинкера, шлака и пущолановой реакции происходит их сращивание в прочную плотную, менее дефектную, относительно однородную мелкодисперсную структуру конгломератного типа с высокой концентрацией твердой фазы и с содержанием в основном порошкового размера. Существенный вклад в прочность такой структуры будут вносить реликты частиц клинкера и шлака, а также частицы прочных минеральных добавок при их наличии.

Таким образом, для значимого повышения прочности бетона требуются многоуровневая плотная иерархическая упаковка многокомпонентной системы с высокой степенью упорядоченности дисперсно-гранулометрического состава, обеспечивающая однородное протекание процесса гидратации минералов клинкера или пущолановой реакции во всех микрообъемах, а также низкое водоцементное отношение. Очевидно, что для обеспечения высокой прочности такой структуры полная гидратация минералов частиц клинкера в этом случае не требуется. Самоуплотняющаяся бетонная смесь с расплывом конуса (РК) 87 см, приготовленная с учетом указанных выше положений, характеризуется высокими реологическими свойствами, отсутствием растворо- и водоотделения и расслоения. На



**Рис. 2.** Самоуплотняющаяся бетонная смесь с РК = 87 см

**Fig. 2.** Self-compacting concrete mixture with CS = 87 cm

поверхности бетонной смеси наблюдаются равномерно распределенные зерна крупного заполнителя (рис. 2).

Проведенные экспериментальные исследования показали, что оптимальное количество высокопрочного цемента

дисперсного цемента составляет 6 %, метакаолина — 3 %, микрокремнезема — 3 %, используемых для замещения эквивалентного количества цемента, а также комплексного химического модификатора, состоящего из Glenium ACE 430 — 3,6–4,3 кг/м<sup>3</sup>

**Табл. 1.** Начальные основные составы бетонов (ГОСТ 27006-2019) для определения эффективных параметров использования компонентов

**Table 1.** The initial basic concrete composition (GOST 27006-2019) to determine the effective component usage parameters

№ п/п / Item No.	Содержание компонентов, кг/м <sup>3</sup> / Component content, kg/m <sup>3</sup>							Прочность бетона на сжатие, МПа, в возрасте, сут / Concrete compressive strength, MPa, at the age of, days					
	Многоуровнево- оптимизированная цементная система / A multi-level optimized cement system			Добавки- модификаторы / Modifying additives		РК, см / CS, см							
	Цемент / Cement	Шлак / Slag	Тонкомолотый многокомпонентный цемент / Fine ground multicomponent cement	Silica fume / Минеральная пыль / Metakaolin / Mica-schist	Бетон / Water Concrete / Water								
1	800	—	—	—	760	750	162	3,7	0,56	76	54	75	
2.1	640	160	—	—	760	751	158	3,7	0,56	77	49	79	
2.2	624	176	—	—	760	755	156	3,7	0,56	78	54	97	
2.3	600	200	—	—	760	751	158	3,7	0,56	77	46	78	
3.1	576	176	48	—	760	755	150	3,7	0,56	79	112	155	
3.2	552	176	72	—	760	750	152	3,7	0,56	78	106	148	
3.3	528	176	96	—	760	745	154	3,7	0,56	78	102	139	
4.1	552	176	48	24	—	760	735	156	3,7	0,56	78	154	209
4.2	528	176	48	48	—	760	724	158	3,7	0,56	78	140	192

и ускорителя твердения АС — 0,07 % (табл. 1). Использование ускорителя твердения обеспечило синергетический эффект применения Glenium 430 и позволило дополнительно редуцировать водосодержание до 20 %.

Установлено также, что оптимизированный и упорядоченный на четырех уровнях самоорганизованный за счет оптимальных геометрических и количественных параметров, а также практически мозаичного энергетического состояния поверхности исходных порошковых компонентов дисперсный многокомпонентный состав обеспечивает снижение межчастичной пустотности на 12–14 % и повышение прочности бетона более чем в 2 раза (до 200 МПа и выше). В частности, прочность бетона на сжатие в возрасте 1 сут после твердения в нормальных условиях составила 58, 67, 77, а в 28 сут — 150, 185, 219 МПа, при расходе цемента соответственно 650, 710 и 770 кг/м<sup>3</sup>.

Для оценки качества структуры бетона были проведены термографические и рентгенофазовые исследования его образцов в возрасте 28 сут после твердения в нормальных условиях и тепловлажностной обработки.

Структура бетона с минерально-химическими модификаторами, имеющими оптимальные параметры, отличается меньшим содержанием портландцемента, а степень гидратации портландцемента состав-

ляет 80–85 %, превышая аналогичный показатель для контрольного состава на 23–60 %, подтверждая его более высокую прочность.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Многоуровневая дисперсно-гранулометрическая в комплексе с химической модификации состава самоуплотняющихся бетонных смесей представляет собой одно из самых эффективных направлений получения высокопрочных бетонов с минимальным абсолютным и удельным на единицу прочности расходом портландцемента и высокими физико-механическими показателями.

SCC в этом случае характеризуются высокой вязкостью при низком уровне предельного напряжения сдвига, а комплексное применение суперпластификаторов и ускорителей твердения — синергетическим эффектом в аспекте пластификации бетонной смеси. Целесообразным является использование разнодисперской клинкерной составляющей, обеспечивающей повышение концентрации твердой фазы в единице объема, однородное протекание реакций гидратации минералов клинкера и пущлановой реакции во всех микрообъемах цементной системы, а также наличие прочных крупных размеров реликтов частиц клинкера с целью значимого повышения прочности цементного камня и бетона.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Величко Е.Г., Дыкин И.В., Еремин А.В. Многоуровнево-модифицированные цементные системы // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 4 (57). С. 111–114.
2. Величко Е.Г., Белякова Ж.С. Физико-химические и методологические основы получения многокомпонентных систем оптимизированного состава // Строительные материалы. 1996. № 3. С. 27–30.
3. Habibi A., Ghomashi J. Development of an optimum mix design method for self-compacting concrete based on experimental results // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 168. Pp. 113–123. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.02.113
4. Sonebi M. Medium strength self-compacting concrete with fly ash: Modeling using factorial experimental plans // Cement and Concrete Research. 2004. Vol. 34. Issue 7. Pp. 1199–1208. DOI: 10.1016/j.cemconres.2003.12.022
5. Bazhenova S., Pilipenko A. The concrete-based high performance decorative material for severe climatic conditions // MATEC Web of Conferences.
6. Калашников В.И. Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов // Строительные материалы. 2008. № 10. С. 4–6.
7. Tkach E.V., Semenov V.S., Tkach S.A., Rozovskaya T.A. Highly effective water-repellent concrete with improved physical and technical properties // Procedia Engineering. 2015. Vol. 111. Pp. 763–769. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.143
8. Manohar K.N., Prakash P., Srishaila J.M., Kumar P.W.P. Strength characteristics of glass fiber reinforced self-compacting concrete with fly ash and silica fume // International Journal of Engineering Research & Technology. 2015. Vol. 4. Issue 08. Pp. 142–146. DOI: 10.17577/ijertv4is080036
9. Aslani F. Nanoparticles in self-compacting concrete — a review // Magazine of Concrete Research. 2015. Vol. 67. Issue 20. Pp. 1084–1100. DOI: 10.1680/macr.14.00381

10. Шестернин А.И., Коровкин М.О., Ерошкина Н.А. Основы технологий самоуплотняющихся бетонов // Молодой ученый. 2015. № 6 (86). С. 226–228.
11. Мелихов И.В. Физико-химическая эволюция твердого вещества. Сер. Нанотехнология. М. : БИНом. Лаборатория знаний, 2006. 309 с.
12. Тарасеева Н.И., Воскресенский А.В., Тарасеева А.С. Роль безотходных технологий в расширении сырьевой базы для получения эффективных модифицирующих добавок и активных наполнителей в цементные растворы и бетоны // Новый университет. Сер.: Технические науки. 2014. № 10 (32). С. 90–93. DOI: 10.15350/2221-9552.2014.10.0018
13. Калашников В.И. Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетонов // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 20–23.
14. Сузальцев О.В., Калашников В.И., Мороз М.Н., Сехносян Г.П. Новые высокоэффективные бетоны // Новый университет. Сер.: Технические науки. 2014. № 7–8 (29–30). С. 44–47. DOI: 10.15350/2221-9552.2014.7-8.0008
15. Чиорино М.А., Фаликман В.Р. Долговечность и устойчивое развитие конструкционного бетона в поле зрения научного сообщества // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 1. С. 24–26.
16. Шестернин А.И. Свойства тонкого наполнителя для бетона из лома железобетонных конструкций // Актуальные вопросы строительства : мат. Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. 2008. Саранск : Изд-во Мордовского университета, С. 238–242.
17. Anderson G., Iqbal M.M., Astira I.F. The effect of substitution and admixture materials on Self-Compacting Concrete (SCC) characteristics // International Journal of Scientific & Technology Research. 2018. Vol. 7. Issue 5. Pp. 28–33.
18. Исаева Ю.В., Величко Е.Г., Касумов А.Ш. Оптимизация структуры сверхлегкого цементного раствора с учетом геометрических и физико-механических характеристик компонентов // Строительные материалы. 2015. № 8. С. 84–87.
19. Яковлев Г.И., Федорова Г.Д., Полянских И.С. Высокопрочный бетон с дисперсными добавками // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 2. С. 35–42.
20. Mujkanović A., Jovanovic M., Bećirhodžić D., Karić A. Self-compacting concrete — a sustainable construction material // The 5th International Conference on Environmental and Material Flow Management «EMFM 2015». 2015. 6 р.
21. Королев Е.В. Технико-экономическая эффективность новых технологических решений. Анализ и совершенствование // Строительные материалы. 2017. № 3. С. 85–89.
22. Geiker M. Self-compacting concrete (SCC) // Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete. 2008. Pp. 187–207. DOI: 10.1533/9781845694685.187
23. Ponikiewski T., Gołaszewski J. Influence of fibres on rheological and mechanical properties of self-compacting concrete // Brittle Matrix Composites 10. 2012. Pp. 187–197. DOI: 10.1533/9780857099891.187
24. Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Любарская Г.В., Розенталь А.Н. Защита бетона на реакционноспособном заполнителе от внутренней коррозии соединениями лития // Строительные материалы. 2009. № 3. С. 68–71.
25. Сафаров К.Б., Степанова В.Ф. Регулирование реакционной способности заполнителей и повышение сульфатостойкости бетонов путем совместного применения низкокальциевой золы-уносца и высокоактивного метакаолина // Строительные материалы. 2016. № 5. С. 70–73.
26. Bazhenov Y., Alimov L., Voronin V. Concrete composites of double structure formation // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 117. P. 00015. DOI: 10.1051/matecconf/201711700015
27. Ахметов Да.А., Роом Е.Н. Опыт применения самоуплотняющихся бетонов в строительной индустрии Республики Казахстан // Молодой ученый. 2017. № 48 (182). С. 11–14.
28. Alimov L., Engovatov I. Nano-modified concretes initial structuring // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 86. P. 04043. DOI: 10.1051/matecconf/20168604043

Поступила в редакцию 3 декабря 2019 г.

Принята в доработанном виде 25 декабря 2019 г.

Одобрена для публикации 29 января 2020 г.

**Об авторах:** Евгений Георгиевич Величко — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительных материалов и материаловедения; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 287053; VelichkoEG@gic.mgsu.ru;

Юлия Сергеевна Шумилина — преподаватель кафедры строительных материалов и материаловедения; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ShumilinaYS@gic.mgsu.ru.

## REFERENCES

1. Velichko E.G., Dykin I.V., Eremin A.V. Multi-level-modified cement systems. *Bulletin of Civil Engineers*. 2016; 4(57):111-114. (rus.).
2. Velichko E.G., Belyakova Zh.S. Physical-chemical and methodological bases for production multicomponent cement systems of optimized composition. *Construction Materials*. 1996; 3:27-30. (rus.).
3. Habibi A., Ghomashi J. Development of an optimum mix design method for self-compacting concrete based on experimental results. *Construction and Building Materials*. 2018; 168:113-123. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.02.113
4. Sonebi M. Medium strength self-compacting concrete with fly ash: Modeling using factorial experimental plans. *Cement and Concrete Research*. 2004; 34(7):1199-1208. DOI: 10.1016/j.cemconres.2003.12.022
5. Bazhenova S., Pilipenko A. The concrete-based high performance decorative material for severe climatic conditions. *MATEC Web of Conferences*. 2017; 106:03004. DOI: 10.1051/matecconf/201710603004
6. Kalashnikov V.I. The calculation of the compositions of high-strength self-compacting concrete. *Construction Materials*. 2008; 10:4-6. (rus.).
7. Tkach E.V., Semenov V.S., Tkach S.A., Rozovskaya T.A. Highly effective water-repellent concrete with improved physical and technical properties. *Procedia Engineering*. 2015; 111:763-769. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.143
8. Manohar K.N., Prakash P., Srishaila J.M., Kumar P.W.P. Strength characteristics of glass fiber reinforced self-compacting concrete with fly ash and silica fume. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2015; 4(08):142-146. DOI: 10.17577/ijertv4is080036
9. Aslani F. Nanoparticles in self-compacting concrete — a review. *Magazine of Concrete Research*. 2015; 67(20):1084-1100. DOI: 10.1680/macr.14.00381
10. Shesternin A.I., Korovkin M.O., Eroshkina N.A. Basics of self-compacting concrete technology. *Young Scientist*. 2015; 6(86):226-228. (rus.).
11. Melikhov I.V. *Physico-chemical evolution of solids*. Moscow, Binom. Knowledge laboratory, 2006; 309. (rus.).
12. Taraseyeva N.I., Voskresenskiy A.V., Taraseyeva A.S. Role of non-waste technology in the source of raw materials for obtaining effective modifiers and active filler in cement mortars and concretes. *New University. Series: Technical sciences*. 2014; 10(32):90-93. DOI: 10.15350/2221-9552.2014.10.0018 (rus.).
13. Kalashnikov V.I. Non-metallic building materials industry and the future of concrete. *Construction Materials*. 2008; 3:20-23. (rus.).
14. Suzdaltsev O.V., Kalashnikov V.I., Moroz M.N., Sehposyn G.P. New high-performance concretes. *New University. Series: Technical sciences*. 2014; 7-8(29-30):44-47. DOI: 10.15350/2221-9552.2014.7-8.0008 (rus.).
15. Chiorino M.A., Falikman V.R. The durability and sustainable development of structural concrete: within global scientific community's line of sight. *Industrial and Civil Engineering*. 2016; 1:24-26. (rus.).
16. Shesternin A.I. Properties of a thin filler for concrete of broken reinforced concrete structures. *Actual problems of construction : materials of Intern. scientific conf., Part 1*. Saransk, Publishing House of Mordovia University, 2008; 238-242. (rus.).
17. Anderson G., Iqbal M.M., Astira I.F. The effect of substitution and admixture materials on Self-Compacting Concrete (SCC) characteristics. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 2018; 7(5):28-33.
18. Isaeva Yu.V., Velichko E.G., Kasumov A. Sh. Optimization of ultra-light cement mortar with due regard for geometrical and physical and mechanical characteristics of components. *Construction Materials*. 2015; 8:84-87. (rus.).
19. Yakovlev G.I., Fedorova G.D., Polyaniskikh I.S. High-strength concrete with disperse additive. *Industrial and Civil Engineering*. 2017; 2:35-42. (rus.).
20. Mujkanović A., Jovanovic M., Bećirhodžić D., Karić A. Self-compacting concrete — a sustainable construction material. *The 5th International Conference on Environmental and Material Flow Management "EMFM 2015"*. 2015; 6.
21. Korolev E.V. Technical-economical efficiency of new technological solutions. Analyses and improvement. *Construction Materials*. 2017; 3:85-89. (rus.).
22. Geiker M. Self-compacting concrete (SCC). *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete*. 2008; 187-207. DOI: 10.1533/9781845694685.187
23. Ponikiewski T., Golaszewski J. Influence of fibres on rheological and mechanical properties of self-compacting concrete. *Brittle Matrix Composites 10*. 2012; 187-197. DOI: 10.1533/9780857099891.187
24. Rozental N.K., Chekhniy G.V., Lyubarskaya G.V., Rozental A.N. Protection of concrete on a reactive aggregate from internal corrosion by lithium salts. *Construction Materials*. 2009; 3:68-71. (rus.).
25. Safarov K.B., Stepanova V.F. Regulation of reaction capacity of fillers and increasing sulfate resistance of concretes by combined use of low-calcium fly ash and high-active metakaolin. *Construction Materials*. 2016; 5:70-73. (rus.).
26. Bazhenov Y., Alimov L., Voronin V. Concrete composites of double structure formation. *MATEC Web of Conferences*. 2017; 117:00015. DOI: 10.1051/matecconf/201711700015

27. Akhmetov D.A., Root E.N. The experience of using self-compacting concrete in the construction industry of the Republic of Kazakhstan. *Young Scientist.* 2017; 48(182):11-14. (rus.).
28. Alimov L., Engovatov I. Nano-modified concretes initial structuring. *MATEC Web of Conferences.* 2016; 86:04043. DOI: 10.1051/matecconf/20168604043.

Received December 3, 2019.

Adopted in a revised form on December 25, 2019.

Approved for publication on January 29, 2020.

**BIONOTES:** **Evgeniy G. Velichko** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Building Materials; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 287053; [VelichkoEG@gic.mgsu.ru](mailto:VelichkoEG@gic.mgsu.ru);

**Yuliya S. Shumilina** — Lecturer of the Department of Building Materials; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; [ShumilinaYS@gic.mgsu.ru](mailto:ShumilinaYS@gic.mgsu.ru).

## Математическое моделирование нестационарного влажностного режима ограждений с применением дискретно-континуального подхода

В.Г. Гагарин<sup>1,2</sup>, К.П. Зубарев<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Россия;

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

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Рассмотрены математические модели влажностного режима, которые разработаны К.Ф. Фокиным, А.В. Лыковым, В.И. Лукьяновым, В.Н. Богословским, Х.М. Кюнцелем. Показаны преимущества использования потенциала влажности по сравнению с раздельным учетом потенциалов переноса. Приведено выражение для потенциала влажности  $F$ , разработанное В.Г. Гагарином и В.В. Козловым.

**Материалы и методы.** Сформулировано дифференциальное уравнение влагопереноса с постоянными во времени коэффициентами и описаны краевые условия. Получено аналитическое выражение для определения потенциала влажности с помощью дискретно-континуального подхода.

**Результаты.** Проведено сравнение отдельных методов расчета по теории потенциала влажности  $F$  для однослойной ограждающей конструкции из газобетона, двухслойной кирпичной стены, а также двух систем фасадных теплоизоляционных композиционных с наружными штукатурными слоями с утеплителем из минеральной ваты и пенополистирола. Рассмотрено решение нестационарного уравнения влагопереноса методом конечных разностей по явной разностной схеме, решение стационарного уравнения влагопереноса, решение нестационарного уравнения влагопереноса дискретно-континуальным методом.

**Выводы.** Распределение влажности, получаемое с помощью дискретно-континуального подхода и количественно, и качественно совпадает с распределением влажности по методу конечных разностей, однако данное распределение получается по конечной формуле без использования численного метода, что упрощает расчет. Научная новизна исследования заключается в разработке математической модели, основанной на потенциале влажности  $F$ , а также в решении уравнения нестационарного влагопереноса с помощью дискретно-континуального подхода. Практическая значимость состоит в возможности получения распределения влаги по толще ограждающей конструкции по полученной формуле.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** энергосбережение, ограждающая конструкция, математическая модель, дискретно-континуальный метод, тепло-влагоперенос, влажностный режим, влажность, влагоперенос, увлажнение, массоперенос

**Благодарности:** Авторы выражают благодарность к.т.н. В.В. Козлову и д.т.н., проф. В.К. Ахметову за обсуждение и полезные замечания в ходе выполнения работы.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Гагарин В.Г., Зубарев К.П. Математическое моделирование нестационарного влажностного режима ограждений с применением дискретно-континуального подхода // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 244–256. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.244-256

## Mathematical modeling of the unsteady moisture condition of enclosures with application of the discrete-continuous approach

Vladimir G. Gagarin<sup>1,2</sup>, Kirill P. Zubarev<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Science (NIISF RAACS); Moscow, Russian Federation;

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

### ABSTRACT

**Introduction.** The paper considers mathematical models developed by K.F. Fokin, A.V. Lykov, V.I. Lukyanov, V.N. Bogosovskiy, and H.M. Kunzel and shows the advantages of using the moisture potential as compared with separate consideration of the transfer potentials. An analytical expression for the moisture potential  $F$  developed by V.G. Gagarin and V.V. Kozlov is given.

**Materials and methods.** The article formulated a differential moisture transfer equation with time-constant coefficients and described boundary conditions. An analytical expression determining the moisture potential using the discrete-continuous approach was obtained.

**Results.** The article compares some calculation methods on the theory of moisture potential  $F$  for the single-layer aerated concrete enclosure, the two-layer brick wall, as well as two composite facade heat-insulation systems with external plaster layers with heat-insulation of mineral wool and foamed polystyrene. The solution of the unsteady equation of moisture transfer by the finite difference method using an explicit difference scheme and by the discrete-continuous method, the solution of the stationary equation of moisture transfer are considered.

**Conclusions.** The moisture distribution obtained using the discrete-continuous approach, both quantitatively and qualitatively, coincides with the moisture distribution by the finite difference method. However, this distribution is obtained by the final formula without using the numerical method, which simplifies the calculation. The scientific novelty of the research consists in the development of a mathematical model based on the moisture potential  $F$  as well as in solving the equation of the unsteady moisture transfer through the discrete-continuous approach. The possibility of obtaining moisture distribution over the thickness of the enclosure according to the obtained formula is the practical relevance of the research.

**KEY WORDS:** energy saving, enclosure, mathematical model, discrete-continuous method, heat moisture transfer, moisture condition, moisture, moisture transfer, moistening, mass transfer

**Acknowledgements:** Authors are deeply indebted to V.V. Kozlov, Candidate of Engineering Sciences, and V.K. Akhmetov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, for discussion and useful remarks in the course of the study.

**FOR CITATION:** Gagarin V.G., Zubarev K.P. Mathematical modeling of the unsteady moisture condition of enclosures with application of the discrete-continuous approach. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(2):244–256. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.244-256 (rus.).

## ВВЕДЕНИЕ

В XXI в. строительство все больше сталкивается с необходимостью расчетов нестационарных процессов [1–4]. Одной из наиболее сложных задач является влагоперенос в толще ограждающей конструкции [5–8]. Данная проблема осложняется тем, что до сих пор не известно уравнение переноса влаги, поэтому современные исследователи работают в рамках отдельных теорий [9–17].

Исследования влажностного режима ограждений позволяют уточнить тепловые потери здания [18–21] и выработать решения по повышению энергосбережения [22–25]. Новые направления развития влажностного режима — исследования в области ослабления электромагнитных волн влажностью строительных материалов [26]; возможность экспериментального определения характера увлажнения ограждающих конструкций методом цветовой индикации [27, 28]; влияние солей, содержащихся во внутреннем воздухе, на формирование граничного условия на внутренней поверхности ограждающей конструкции [29, 30].

### Представление влагопереноса с помощью частных потенциалов переноса

Одна из самых первых математических моделей влагопереноса была основана на дифференциальном уравнении переноса водяного пара [31]:

$$\gamma_0 \cdot \frac{\xi_0(w)}{E_t(t)} \cdot \frac{\partial e(w,t)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial e(w,t)}{\partial x} \right), \quad (1)$$

где  $\gamma_0$  — плотность сухого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\xi_0$  — относительная пароемкость материала, кг/кг;  $w$  — массовая влажность, кг/кг (1 кг/кг = 100 % по массе);  $E_t$  — давление насыщенного водяного пара, Па;  $t$  — температура, °C;  $e$  — парциальное давление водяного пара, Па;  $\tau$  — время, с;  $x$  — координата, м;  $\mu$  — коэффициент паропроницаемости, кг/(м·с·Па).

На краях ограждающей конструкции используются граничные условия влагообмена третьего рода, между слоями применялось условие постоянства парциального давления водяного пара. Для вычисления давления насыщенного водяного пара в уравнении (1) дополнительно исследовалась задача стационарной теплопроводности [31].

Основным недостатком настоящей математической модели являлось ограничение, следующее из физики процесса [31]:

$$e \leq E_t. \quad (2)$$

Данное обстоятельство делало невозможным использовать настоящую теорию для расчета сверхсорбционного увлажнения.

Совместный влагоперенос в сорбционной и сверхсорбционной зонах увлажнения учитывался в другой математической модели с помощью дифференциального уравнения [31]:

$$\gamma_0 \frac{\partial w}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \beta(w) \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial E_t(t)}{\partial x} \right), \quad (3)$$

где  $\beta$  — коэффициент влагопроводности, кг/(м·с·кг/кг).

Уравнение (3) давало больше возможностей по сравнению с уравнением (1), однако в его правой части под знаками частных производных находятся сразу два потенциала переноса: массовая влажность и давление насыщенного водяного пара, что сильно затрудняет возможность разработки на его основе упрощенных инженерных методов.

Более детальный подход к влажностному режиму предложили А.В. Лыков [32], J.R. Phillip и D.A. de Vries [33]. Влагоперенос представлялся с помощью градиентов влагосодержания и температуры [33]:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \nabla (k_w \cdot \nabla W + k_t \cdot \nabla t), \quad (4)$$

где  $W$  — объемное влагосодержание, кг/м<sup>3</sup>;  $k_w$  — коэффициент переноса влаги под действием градиента влагосодержания, который зависит от влагосодержания и температуры, м<sup>2</sup>/с;  $k_t$  — коэффициент переноса влаги под действием градиента температуры, который зависит от влагосодержания и температуры, кг/(м·с·°C).

Более физически проработанное представление процесса переноса влаги создано В.И. Лукьяновым и основано на уравнении [34]:

$$10 \frac{\partial u}{\partial \tau} = \operatorname{div} \left( 10K(u_b, t) \nabla u_b + K_t(u_b, t) \nabla t + D(u) \nabla (E_t \varphi(u_b)) + \frac{E_t \varphi(u_b)}{P_A} i'(u) \nabla P_A \right), \quad (5)$$

где  $u$  — полное влагосодержание материала, % по объему;  $K$  — коэффициент влагопроводности, м<sup>2</sup>/с;  $u_b$  — количество влаги в материале в жидкой фазе, % по объему;  $K_t$  — коэффициент термовлагопроводности, м<sup>2</sup>/(м·с·°C);  $D$  — коэффициент диффузии водяного пара в порах материала, кг/(м·Па·с);  $\varphi$  — относительная влажность воздуха;  $P_A$  — давление воздуха в порах материала, гПа;  $i'$  — коэффициент фильтрации воздуха в порах материала, кг/(Па·м·с).

Существуют и другие метаматематические модели, основанные на раздельном учете потенциалов переноса. Их отличительной особенностью является либо недостаточный учет физики процессов, либо сложная математическая постановка, затрудняющая преобразования и получение аналитических решений.

### Представление влагопереноса с помощью потенциала влажности

Принципиально другой подход к формированию математической модели предлагают методы, основанные на теории потенциала влажности.

Впервые такой подход был предложен В.Н. Богословским. Дифференциальное уравнение влагопереноса сформулировано относительно единого потенциала переноса, который получил название «потенциал влажности», а поток влажности не разделялся на отдельные составляющие [35]:

$$\eta(\Theta, t) \cdot \gamma_0 \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \kappa(\Theta, t) \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial x} \right), \quad (6)$$

где  $\eta$  — удельная влагоемкость, кг/(кг·°B);  $\Theta$  — потенциал влажности Богословского, °B (градус влажности);  $\kappa$  — коэффициент влагопроводности, введенный В.Н. Богословским, кг/(м·ч·°B).

Сложность применения подхода В.Н. Богословского заключалась в очень трудоемком и длительном эксперименте с помощью которого производилось построение шкалы потенциала влажности.

Другой потенциал влажности предложил Н.М. Кунцел [33]:

$$\frac{dW}{d\varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \tau} = \nabla \left( D_\varphi \nabla \varphi + \mu \cdot \nabla (\varphi E_t) \right), \quad (7)$$

где  $D_\varphi$  — коэффициент переноса жидкой влаги, кг/(м·с).

Данный потенциал влажности в настоящее время активно развивается за рубежом и является основой программы WUFI.

### Математическая модель, основанная на потенциале влажности В.Г. Гагарина и В.В. Козлова

В.Г. Гагарин и В.В. Козлов предложили потенциал влажности  $F$ , который единообразно учитывает влагоперенос в сорбционной и сверхсорбционной зонах [36]:

$$F(w, t) = E_t(t) \cdot \varphi(w) + \frac{1}{\mu} \int_0^w \beta(\zeta) d\zeta. \quad (8)$$

где  $F$  — потенциал влажности, Па.

На основании потенциала влажности  $F$  сформулировано дифференциальное уравнение влагопереноса [37]:

$$\frac{\partial F(w, t)}{\partial \tau} = \kappa_F(w, t) \cdot E_t(t) \cdot \frac{\partial^2 F(w, t)}{\partial x^2}, \quad (9)$$

где  $\kappa_F$  — коэффициент тепловлажностных свойств материала, м<sup>2</sup>/(с·Па).

Изменение потенциала влажности наружного воздуха (наружного краевого условия) во времени в течение каждого месяца предполагается по зависимости [37]:

$$F_h = m \cdot \tau + n, \quad (10)$$

где  $m$  — производная к графику зависимости потенциала влажности наружного воздуха от времени, Па/с;  $n$  — подъем прямой на графике зависимости потенциала влажности наружного воздуха от времени, Па.

Реализация метода расчета влажностного режима по выражению (9) проводилась методом конечных разностей по явной разностной схеме [37].

## ЗАДАЧА ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка математической модели нестационарного влажностного режима ограждающей конструкции, основанной на потенциале влажности  $F$  и решения уравнения влагопереноса с помощью дискретно-континуального подхода.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Приведение уравнения влагопереноса к виду, требуемому при дискретно-континуальном подходе

В уравнении влагопереноса (9) коэффициент  $\kappa_F$  — переменный и требует уточнения на каждом временном шаге расчета во всех сечениях ограждения, однако, числовой порядок этого коэффициента для многих строительных материалов очень мал. Поэтому представляется возможной замена коэффициента  $\kappa_F$  на «осредненный коэффициент тепловлажностных свойств материала»  $\kappa_{F0}$ , который будет константой в течение рассматриваемого месяца. Давление насыщенного водяного пара  $E_t$  зависит от пространственной координаты в ограждении, но не зависит от времени, так как в течение месяца распределение температуры в конструкции — постоянно. Таким образом, появляется возможность сформулировать дифференциальное уравнение влагопереноса с постоянными во времени коэффициентами.

Подставляя коэффициент тепловлажностных свойств материала [37] в уравнение (9), получим:

$$\frac{\partial F(w,t)}{\partial \tau} = \frac{\mu}{\gamma_0 \cdot \xi_F(w,t)} \cdot E_t(t) \cdot \frac{\partial^2 F(w,t)}{\partial x^2}, \quad (11)$$

где  $\xi_F$  — относительная потенциалоемкость, кг/кг [37].

Введена величина «осредненная постоянная относительная потенциалоемкость»  $\xi_{F0}$ . Заменяем в уравнении (10)  $\xi_F$  на  $\xi_{F0}$ :

$$\frac{\partial F(w,t)}{\partial \tau} = \frac{\mu}{\gamma_0 \cdot \xi_{F0}} \cdot E_t(t) \cdot \frac{\partial^2 F(w,t)}{\partial x^2}, \quad (12)$$

где  $\xi_{F0}$  — осредненная постоянная относительная потенциалоемкость, кг/кг.

Тогда осредненный коэффициент тепловлажностных свойств материала  $\kappa_{F0}$  примет вид:

$$\kappa_{F0} = \frac{\mu}{\gamma_0 \cdot \xi_{F0}}, \quad (13)$$

где  $\kappa_{F0}$  — осредненный коэффициент тепловлажностных свойств материала, м<sup>2</sup>/(с·Па).

Подставляя уравнение (13) в (12), получим окончательно формулировку уравнения влагопереноса:

$$\frac{\partial F(w,t)}{\partial \tau} = \kappa_{F0} \cdot E_t(t) \cdot \frac{\partial^2 F(w,t)}{\partial x^2}. \quad (14)$$

Математическая постановка задачи тепловлагопереноса в течение месяца будет состоять из пространственно-временной области, уравнения стационарной теплопроводности, дифференциального уравнения влагопереноса, зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры, краевых и начальных условий.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0 \text{ — уравнение теплопроводности;} \\ \frac{\partial F(w,t)}{\partial \tau} = \kappa_{F0} \cdot E_t(t) \cdot \frac{\partial^2 F(w,t)}{\partial x^2} \text{ — уравнение влагопереноса;} \\ E_t(t) = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot \exp\left(-\frac{5330}{273+t}\right) \text{ — уравнение зависимости } E_t(t) \text{ от } t; \\ 0 \leq x \leq l, \tau > 0 \text{ — пространственно-временная область;} \\ -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_h (t_h - t_1) \text{ — краевое условие;} \\ \lambda \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=l} = \alpha_b (t_b - t_N) \text{ — краевое условие;} \\ -\mu \frac{\partial F}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{1}{R_{b,h}} (F_h - F_1) \text{ — краевое условие;} \\ \mu \frac{\partial F}{\partial x} \Big|_{x=l} = \frac{1}{R_{b,b}} (F_b - F_N) \text{ — краевое условие;} \\ F(x,0) = f(x), 0 \leq x \leq l \text{ — начальное условие,} \end{array} \right. \quad (15)$$

где  $\alpha_h$  — коэффициент теплоотдачи между поверхностью ограждающей конструкции и наружным воздухом, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $t_h$  — температура наружного воздуха, °C;  $t_1$  — температура первого сечения ограждающей конструкции, °C;  $\alpha_b$  — коэффициент теплоотдачи между поверхностью ограждающей конструкции и внутренним воздухом, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $t_b$  — температура материала в  $N$ -м сечении ограждающей конструкции, °C;  $R_{b,h}$  — сопротивление влагообмену между поверхностью ограждающей конструкции и наружным воздухом, (м<sup>2</sup>·с·Па)/кг;  $F_h$  — потенциал влажности наружного воздуха, Па;  $F_1$  — потенциал влажности материала первого сечения ограждающей конструкции, Па;  $R_{b,b}$  — сопротивление

влагообмену между поверхностью ограждающей конструкции и внутренним воздухом,  $(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па})/\text{кг}$ ;  $F_b$  — потенциал влажности внутреннего воздуха, Па;  $F_N$  — потенциал влажности материала в  $N$ -м сечении ограждающей конструкции, Па.

В случае многослойной ограждающей конструкции на стыке материалов имеет место неразрывность потока теплоты:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=v-0} = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=v+0}, \quad (16)$$

где  $v$  — сечение ограждающей конструкции, содержащее стык материалов.

А также неразрывность потока потенциала влажности:

$$-\mu \frac{\partial F}{\partial x} \Big|_{x=v-0} = -\mu \frac{\partial F}{\partial x} \Big|_{x=v+0}. \quad (17)$$

Между временными периодами (месяцами) задается неразрывность массовой влажности:

$$w|_{\tau=\sigma-0} = w|_{\tau=\sigma+0}, \quad (18)$$

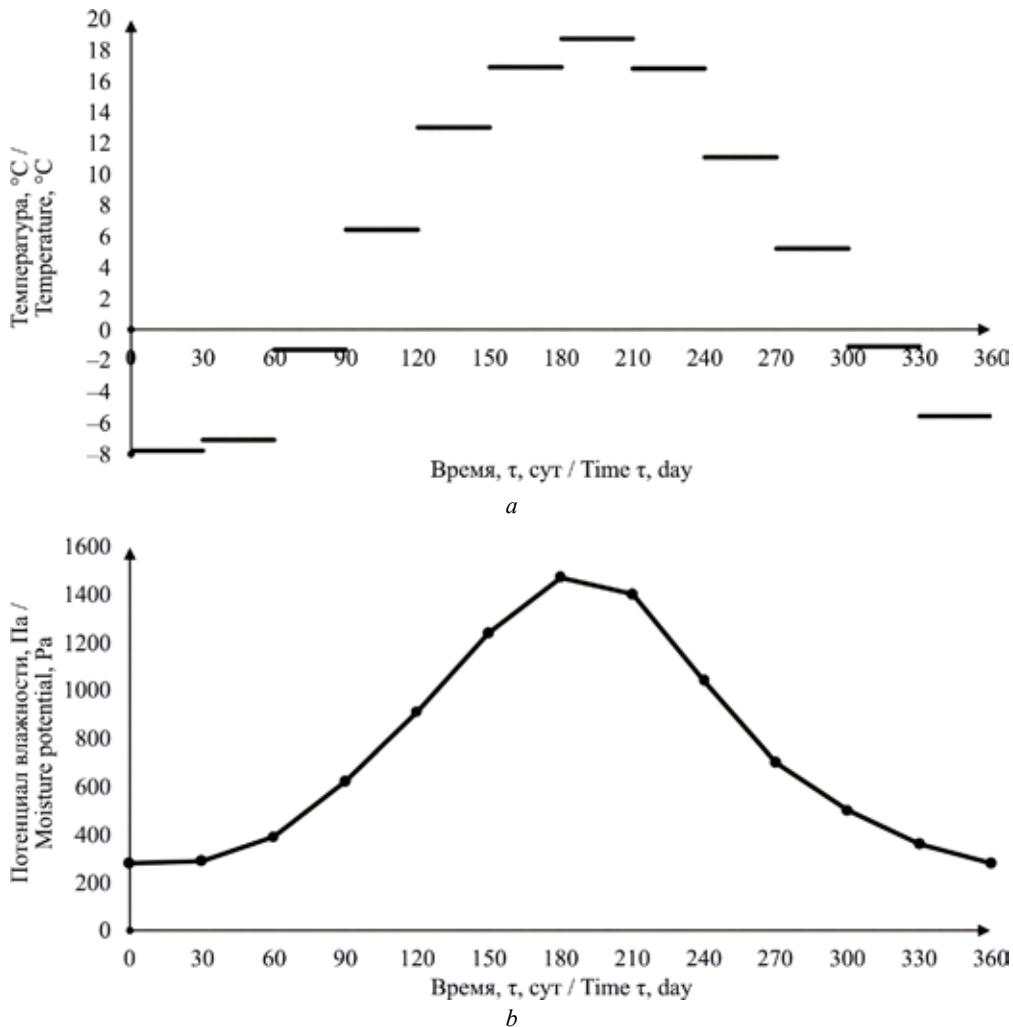
где  $\sigma$  — момент времени, содержащий разрыв между временными периодами, с.

### Краевые условия

Температура и потенциал влажности внутреннего воздуха принимаются неизменными. Изменение температуры и потенциала влажности наружного воздуха представлено на рис. 1.

### Решение уравнения нестационарного влагопереноса с помощью дискретно-континуального подхода

Для двухслойной ограждающей конструкции проведем дискретно-континуальную аппроксима-



**Вестник МГСУ** • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 15. Выпуск 2, 2020  
**Vestnik MGSU** • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 15. Issue 2, 2020

Рис. 1. Границные условия для влажностного и температурного полей снаружи конструкции: *a* — граничное условие для температурного поля; *b* — граничное условие для влажностного поля

Fig. 1. Boundary conditions for outside temperature and moisture distributions: *a* — boundary condition for temperature distribution; *b* — boundary condition for moisture distribution

цию пространственно-временной области [38–40]: по оси  $x$  частные производные заменяются конечными разностями, а по времени  $\tau$  ищется решение в виде функций (рис. 2).

В результате получена система уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial F_1(\tau)}{\partial \tau} = \frac{\kappa_{F01}}{h_1^2} \cdot E_{t1} \left( -\left(1 + \frac{h_1}{R_{b,h} \cdot \mu_1}\right) F_1(\tau) + F_2(\tau) \right) + \\ + \frac{\kappa_{F01}}{h_1^2} \cdot E_{t1} \cdot \frac{h_1}{R_{b,h} \cdot \mu_1} \cdot F_h(\tau); \\ \frac{\partial F_i(\tau)}{\partial \tau} = \frac{\kappa_{F01}}{h_1^2} \cdot E_{ti} (F_{i-1}(\tau) - 2 \cdot F_i(\tau) + F_{i+1}(\tau)), \\ i = 2, 3, 4, \dots, v-1; \\ \frac{\partial F_v(\tau)}{\partial \tau} = d_{v-1} \cdot F_{v-1}(\tau) - d_v \cdot F_v(\tau) + d_{v+1} \cdot F_{v+1}(\tau); \\ \frac{\partial F_i(\tau)}{\partial \tau} = \frac{\kappa_{F02}}{h_2^2} \cdot E_{ti} (F_{i-1}(\tau) - 2 \cdot F_i(\tau) + F_{i+1}(\tau)), \\ i = v+1, v+2, \dots, N-1; \\ \frac{\partial F_N(\tau)}{\partial \tau} = \frac{\kappa_{F02}}{h_2^2} \cdot E_{tN} \left( F_{N-1}(\tau) - \left(1 + \frac{h_2}{R_{b,b} \cdot \mu_2}\right) F_N(\tau) \right) + \\ + \frac{\kappa_{F02}}{h_2^2} \cdot E_{tN} \cdot \frac{h_2}{R_{b,b} \cdot \mu_2} \cdot F_b; \\ F(x, 0) = f(x), 0 \leq x \leq l. \end{cases} \quad (19)$$

$$d_{v-1} = 2 \cdot E_{tv} \cdot \mu_1 / (h_1 (h_1 \cdot \gamma_{01} \cdot \xi_{F01} + h_2 \cdot \gamma_{02} \cdot \xi_{F02})). \quad (20)$$

$$d_v = 2 \cdot E_{tv} \cdot \frac{\mu_1 / h_1 + \mu_2 / h_2}{h_1 \cdot \gamma_{01} \cdot \xi_{F01} + h_2 \cdot \gamma_{02} \cdot \xi_{F02}}. \quad (21)$$

$$d_{v+1} = 2 \cdot E_{tv} \cdot \mu_2 / (h_2 (h_1 \cdot \gamma_{01} \cdot \xi_{F01} + h_2 \cdot \gamma_{02} \cdot \xi_{F02})). \quad (22)$$

где  $F_1$  — потенциал влажности в первом сечении ограждающей конструкции, Па;  $\kappa_{F01}$  — осредненный коэффициент тепловлажностных свойств материала № 1,  $\text{m}^2/(\text{s}\cdot\text{Па})$ ;  $E_{t1}$  — давление насыщенного водяного пара в сечении № 1 в ограждающей кон-

струкции, Па;  $h_1$  — шаг по координате в материале № 1 ограждающей конструкции, м;  $\mu_1$  — коэффициент паропроницаемости материала № 1,  $\text{kg}/(\text{м}\cdot\text{с}\cdot\text{Па})$ ;  $F_2$  — потенциал влажности в сечении № 2 в ограждающей конструкции, Па;  $F_i$  — потенциал влажности в сечении №  $i$  в ограждающей конструкции, Па;  $E_{ti}$  — давление насыщенного водяного пара в сечении №  $i$  в ограждающей конструкции, Па;  $F_{i-1}$  — потенциал влажности в сечении №  $(i-1)$  в ограждающей конструкции, Па;  $F_{i+1}$  — потенциал влажности в сечении №  $(i+1)$  в ограждающей конструкции, Па;  $h_1$  — шаг по координате материала № 1 в ограждающей конструкции, м;  $F_v$  — потенциал влажности в сечении №  $v$  в ограждающей конструкции, Па;  $d_{v-1}$  — коэффициент перед потенциалом влажности в сечении №  $(v-1)$  в ограждающей конструкции,  $1/\text{c}$ ;  $F_{v-1}$  — потенциал влажности в сечении №  $(v-1)$  в ограждающей конструкции, Па;  $d_v$  — коэффициент перед потенциалом влажности в сечении №  $v$  в ограждающей конструкции,  $1/\text{c}$ ;  $d_{v+1}$  — коэффициент перед потенциалом влажности в сечении №  $(v+1)$  в ограждающей конструкции,  $1/\text{c}$ ;  $F_{v+1}$  — потенциал влажности в сечении №  $(v+1)$  в ограждающей конструкции, Па;  $F_N$  — потенциал влажности в сечении №  $N$  в ограждающей конструкции, Па;  $\kappa_{F02}$  — осредненный коэффициент тепловлажностных свойств материала № 2,  $\text{m}^2/(\text{s}\cdot\text{Па})$ ;  $F_{N-1}$  — потенциал влажности в сечении №  $(N-1)$  в ограждающей конструкции, Па;  $h_2$  — шаг по координате в материале № 2 в ограждающей конструкции, м;  $\mu_2$  — коэффициент паропроницаемости материала № 2,  $\text{kg}/(\text{м}\cdot\text{с}\cdot\text{Па})$ ;  $E_{tv}$  — давление насыщенного водяного пара в сечении №  $v$  в ограждающей конструкции;  $\gamma_{01}$  — плотность материала № 1 в сухом состоянии,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $\xi_{F01}$  — осредненная постоянная относительная потенциалоемкость ма-

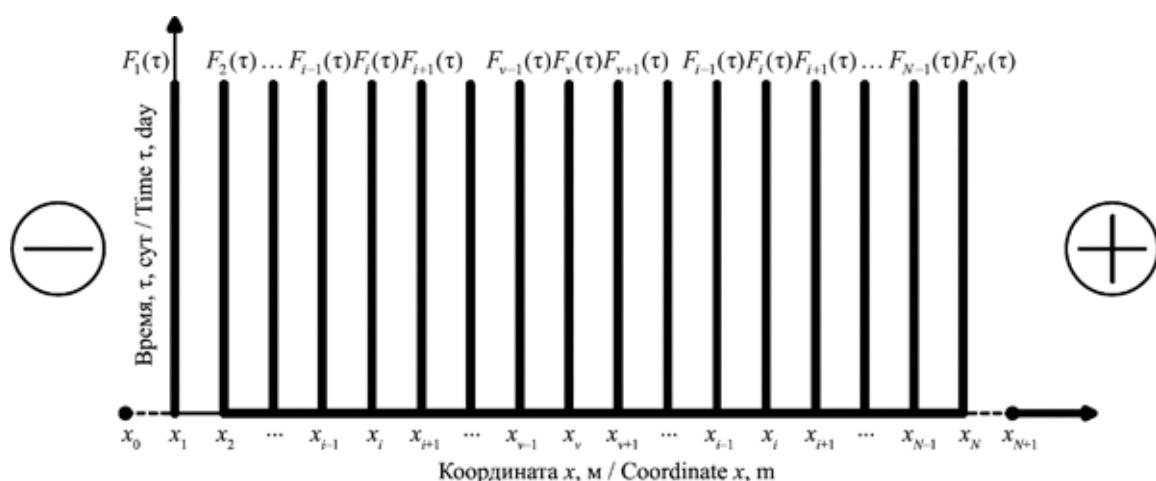


Рис. 2. Дискретно-континуальная аппроксимация пространственно-временной области двухслойной ограждающей конструкции

Fig. 2. Discrete-continuous approximation of spatial-time domain of a two-layer enclosure

териала № 1, кг/кг;  $\gamma_{02}$  — плотность материала № 2 в сухом состоянии, кг/м<sup>3</sup>;  $\xi_{F02}$  — осредненная постоянная относительная потенциалоемкость материала № 2, кг/кг.

Система уравнений (19) в матричном виде является задачей Коши:

$$\begin{cases} \bar{F}' = (G + K \cdot E_{tM} \cdot A_{MH}) \cdot \bar{F} + p_{MH} \cdot \tau \cdot \bar{L} + \bar{B}_{MH}; \\ \bar{F}(0) = \bar{F}_0, \quad 0 \leq x \leq l. \end{cases} \quad (23)$$

где

$$p_{MH} = \kappa_{F01} \cdot E_{t1} \cdot h_1 \cdot m / (R_{bh} \cdot h_1^2 \cdot \mu_1). \quad (24)$$

$$G = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & d_{v-1} & d_v & d_{v+1} & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$K = \begin{pmatrix} \kappa_{F01}/h_1^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \kappa_{F01}/h_1^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \kappa_{F02}/h_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \kappa_{F02}/h_2^2 \end{pmatrix},$$

$$E_{tM} = \begin{pmatrix} E_{t1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & E_{t2} & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & E_{t(N-1)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & E_{tN} \end{pmatrix}, \quad \bar{F}_0 = \begin{pmatrix} F_1(0) \\ F_2(0) \\ \dots \\ F_{N-1}(0) \\ F_N(0) \end{pmatrix},$$

$$A_{MH} = \begin{pmatrix} -\frac{1+h_1}{R_{bh} \cdot \mu_1} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -\frac{1+h_2}{R_{bh} \cdot \mu_2} \end{pmatrix},$$

$$\bar{B}_{MH} = \begin{pmatrix} \kappa_{F01} \cdot E_{t1} \cdot h_1 \cdot n / (R_{bh} \cdot h_1^2 \cdot \mu_1) \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ \kappa_{F02} \cdot E_{tN} \cdot h_2 \cdot F_b / (R_{bh} \cdot h_2^2 \cdot \mu_2) \end{pmatrix}, \quad \bar{L} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

$$\bar{F} = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_{N-1} \\ F_N \end{pmatrix}, \quad \bar{F}' = \begin{pmatrix} F'_1(\tau) \\ F'_2(\tau) \\ \dots \\ F'_{N-1}(\tau) \\ F'_N(\tau) \end{pmatrix}.$$

Решение системы уравнений (23) приводит к аналитическому выражению:

$$\begin{aligned} \bar{F} = p_{MH} & \left( (G + K \cdot E_{tM} \cdot A_{MH})^{-2} e^{(G+K \cdot E_{tM} \cdot A_{MH}) \cdot \tau} - \right. \\ & - \tau (G + K \cdot E_{tM} \cdot A_{MH})^{-1} - (G + K \cdot E_{tM} \cdot A_{MH})^{-2} \Big) \times \\ & \times \bar{L} + (G + K \cdot E_{tM} \cdot A_{MH})^{-1} \left( e^{(G+K \cdot E_{tM} \cdot A_{MH}) \cdot \tau} - E \right) \cdot \bar{B}_{MH} + \\ & + e^{(G+K \cdot E_{tM} \cdot A_{MH}) \cdot \tau} \cdot \bar{F}_0. \end{aligned} \quad (25)$$

Полученная формула (25) позволяет определять распределение потенциала влажности во всех сечениях ограждающей конструкции, на любой момент времени.

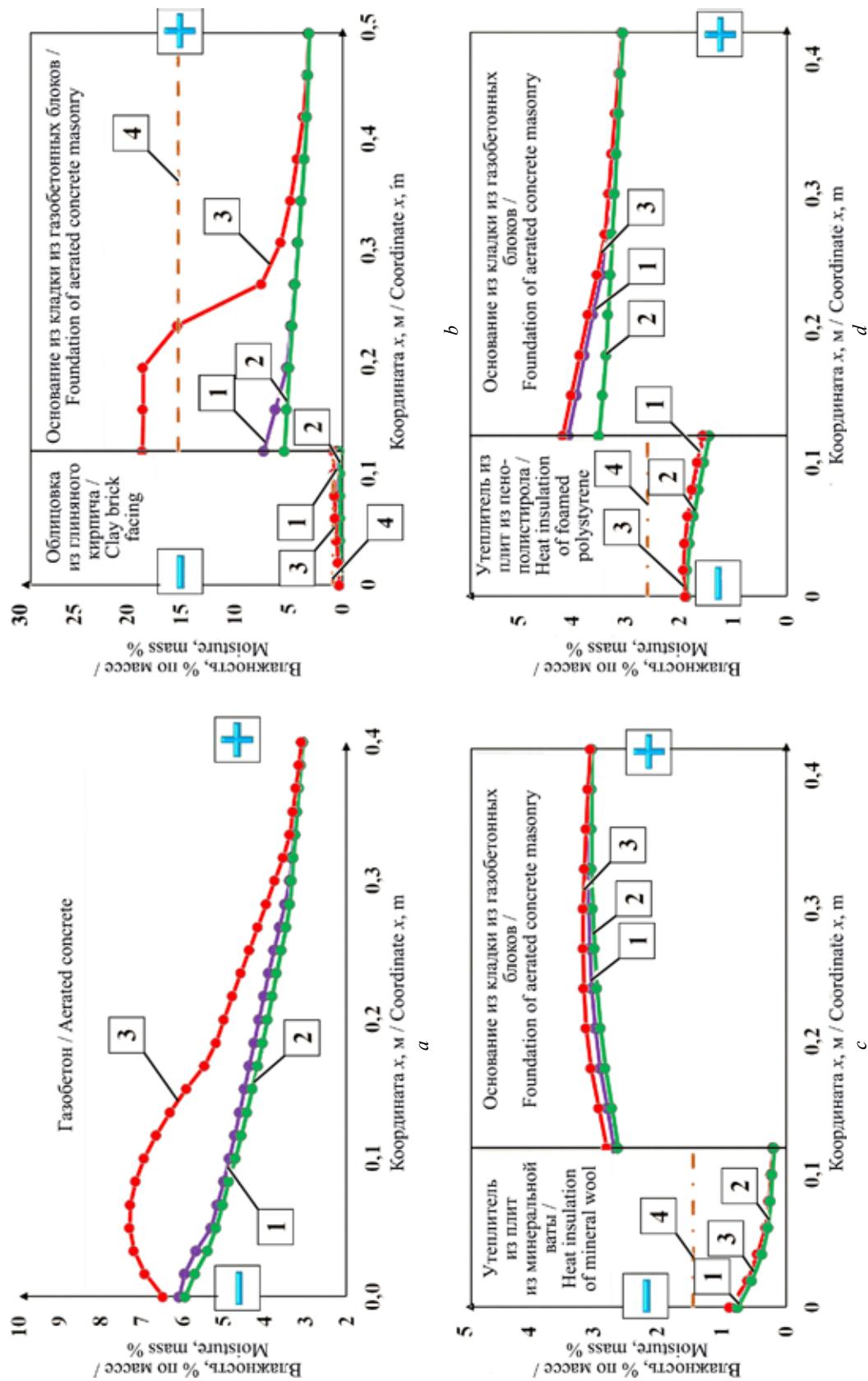
## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведено сравнение результатов расчетов влажностного режима отдельных методов теории потенциала влажности  $F$ . Написаны три программы, которые позволяют рассчитывать влажностное состояние ограждающих конструкций на языке MATLAB. В основу первой программы заложено решение уравнения нестационарного влагопереноса методом конечных разностей по явной разностной схеме [37]; в основу второй — решение уравнения нестационарного влагопереноса дискретно-континуальным методом по выведенной формуле (25); третья программа основана на решении уравнения стационарного влагопереноса [36].

Исследование проводилось для четырех ограждающих конструкций: однослойная газобетонная стена, оштукатуренная снаружи и внутри; газобетонная стена, оштукатуренная с внутренней стороны; система фасадная теплоизоляционная композиционная из газобетона, утепленная минераловатными плитами, оштукатуренная снаружи и изнутри; система фасадная теплоизоляционная композиционная из газобетона, утепленная пенополистирольными плитами, оштукатуренная снаружи и изнутри. Ограждение возведено в г. Москве. Внутри поддерживаются постоянными: относительная влажность 55 % и температура 20 °C. Представлены результаты расчета влажностного состояния ограждающих конструкций на период максимального влагонакопления (рис. 3).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Из графиков видно, что наибольшая влажность для всех рассчитанных ограждающих конструкций достигается при решении стационарного уравнения влагопереноса. Фактически, решение стационарного уравнения влагопереноса показывает максимально возможное влагонакопление в рамках существующей математической модели.



**Рис. 3.** Сравнение влажностного режима стены зданий, полученного отдельными методами теории потенциала влажности: *a* — стена из газобетона и глиняного кирпича; *b* — стена из газобетона и пенополистирола (1 — из газобетона и пенополистирола (1 — использование метода конечных разностей; 2 — максимальная сорбционная влажность))

**Fig. 3.** Comparison of building wall moisture conditions obtained by different moisture potential theory methods: *a* — wall of aerated concrete; *b* — wall of aerated concrete and clay bricks; *c* — wall of aerated concrete and mineral wool; *d* — wall of aerated concrete and foamed polystyrene (1 — use of finite difference method; 2 — use of discrete-continuous method; 3 — analytical solution of stationary equation of moisture transfer; 4 — maximum sorption moisture)

Распределение влажности, полученное при решении нестационарного уравнения влагопереноса методом конечных разностей, учитывает инерционность увлажнения. Однако для его использования необходимо применять численный метод. Полученные результаты демонстрируют, что с течением времени ограждение не успевает увлажниться до стационарного состояния.

Предложенное решение уравнения влагопереноса с помощью дискретно-континуального подхода дает возможность определить распределение влажности и количественно, и качественно совпадающее с решением уравнения влагопереноса методом конечных разностей, однако, данное распределение получается по аналитическому выражению (25), что упрощает расчет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для исследования нестационарного влажностного режима ограждающих конструкций зданий разработан новый эффективный метод с применением дискретно-континуального подхода. Выведена формула для определения потенциала влажности по толще ограждающей конструкции.

Перспективой развития этого направления является исследование влияния граничных условий на влагоперенос и развитие других аналитических способов определения нестационарного влажностного режима.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мусорина Т.А., Зaborова Д.Д., Петриченко М.Р. Математический аппарат для определения термического сопротивления однородной скалярной среды // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 8. С. 1037–1045. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.8.1037-1045
2. Poddaeva O., Kubenin A., Gribach D. Measures of improving the accuracy of the calculation of energy efficiency and energy saving of construction transport infrastructure // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. Vol. 692. Pp. 490–497. DOI: 10.1007/978-3-319-70987-1\_52
3. Козлов В.В. Вопросы точности расчета приведенного сопротивления теплопередаче и температурных полей // Строительство и реконструкция. 2018. № 3 (77). С. 62–74.
4. Иванов В.В., Карасева Л.В., Тихомиров С.А. Теплообмен в пограничных слоях на излучающих поверхностях при градиентном течении // Инженерный вестник Дона. 2017. № 3 (46). С. 10.
5. Даюк Т.А., Аникурова Е.А. Влияние тепло-влажностного режима теплых чердаков на состояние ограждающих конструкций // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 5 (76). С. 160–165. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-5-160-165
6. Переображенцев А.Г. Проектирование наружных стен высотных зданий с заданным температурно-влажностным режимом // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. 2017. № 48 (67). С. 48–60.
7. Береговой А.М., Береговой В.А. Температурно-влажностное состояние наружных ограждений в условиях фазовых переходов влаги и агрессивных воздействий среды // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 3 (32). С. 99–104.
8. Гороховский А.Г., Шишикина Е.Е., Старова Е.В., Миков А.А. Анализ процессов сушки древесины существенно неизотермическими режимами // Лесной журнал. 2018. № 2 (362). С. 88–96. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.88
9. Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Математическая модель тепломассопереноса в пористом теле // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8. Вып. 3. С. 35–53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3
10. Kaczmarek A., Wesolowska M. Factors affecting humidity conditions of a face wall layer of a heated building // Procedia Engineering. 2017. Vol. 193. Pp. 205–210. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.06.205
11. Latif E., Wijeyesekera D.C., Mohammad S. Impact of moistened bio-insulation on whole building energy use // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 103. P. 03020. DOI: 10.1051/matecconf/201710303020
12. Hroudova J., Korjenic A., Zach J., Mitterböck M. Entwicklung eines Wärmedämmputzes mit Naturfasern und Untersuchung des Wärme- und Feuchteverhaltens // Bauphysik. 2017. Vol. 39. Issue 4. Pp. 261–271. DOI: 10.1002/bapi.201710030
13. Almeida R.M.S.F., Barreira E. Monte Carlo simulation to evaluate mould growth in walls: The effect of insulation, orientation, and finishing coating // Advances in Civil Engineering. 2018. P. 8532167. DOI: 10.1155/2018/8532167
14. Guimaraes A.S., Ribeiro I.M., de Freitas V.P. Numerical models performance to predict drying liquid water in porous building materials: Comparison of experimental and simulated drying water content profiles //

- Cogent engineering. 2017. Vol. 4. Issue 1. P. 1365572. DOI: 10.1080/23311916.2017.1365572
15. Guimaraes A.S., Ribeiro I.M., Freitas T.S. TRHUMIDADE — A water diffusivity model to predict moisture content profiles // Cogent engineering. 2018. Vol. 5. Issue 1. P. 1459007. DOI: 10.1080/23311916.2018.1459007
16. Melin C.B., Hagentoft C.E., Holl K., Nik V.M., Kilian R. Simulations of moisture gradients in wood subjected to changes in relative humidity and temperature due to climate change // Geosciences. 2018. Vol. 8. Issue 10. P. 378. DOI: 10.3390/geosciences8100378
17. Gamayunova O., Musorina T., Ishkov A. Humidity distributions in multilayered walls of high-rise buildings // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 33. P. 02045. DOI: 10.1051/e3sconf/20183302045
18. Belkharchouche D., Chaker A. Effects of moisture on thermal conductivity of the lightened construction material // International Journal of Hydrogen Energy. 2016. Vol. 41. Issue 17. Pp. 7119–7125. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.01.160
19. Jin H.Q., Yao X.-L., Fan L.-W., Xu X., Yu Z.-T. Experimental determination and fractal modeling of the effective thermal conductivity of autoclaved aerated concrete: Effects of moisture content // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2016. Vol. 92. Pp. 589–602. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.08.103
20. Hoseini A., Bahrami A. Effects of humidity on thermal performance of aerogel insulation blankets // Journal of Building Engineering. 2017. Vol. 13. Pp. 107–115. DOI: 10.1016/j.jobe.2017.07.001
21. Georget F., Prevost J.H., Huet B. Impact of the microstructure model on coupled simulation of drying and accelerated carbonation // Cement and Concrete Research. 2018. Vol. 104. Pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.cemconres.2017.11.008
22. Пастушков П.П., Гринфельд Г.И., Павленко Н.В., Беспалов А.Е., Коркина Е.В. Расчетное определение эксплуатационной влажности автоклавного газобетона в различных климатических зонах строительства // Вестник МГСУ. 2015. № 2. С. 60–69. DOI: 10.22227/1997-0935.2015.2.60-69
23. Пастушков П.П. Влияние влажностного режима ограждающих конструкций с наружными штукатурными слоями на энергоэффективность теплоизоляционных материалов : дис. ... канд. техн. наук. М., 2013. 169 с.
24. Алексеенко В.Н., Михеева Ю.Л. Воздействия климатических факторов на температурно-влажностный режим ограждающих конструкций православных храмов XVIII–XIX веков // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2017. № 1 (17). С. 20–28.
25. Алексеенко В.Н., Михеева Ю.Л. Результаты исследования температурно-влажностного режима Петропавловского собора в городе Симферополе //
- Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 7. С. 46–51.
26. Kupriyanov V.N., Shafigullin R.I. Protective characteristics of enclosing structures exposed to electromagnetic radiation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 463. P. 022061. DOI: 10.1088/1757-899X/463/2/022061
27. Petrov A.S., Kupriyanov V.N. Determination of humidity conditions of enclosing structures by the color indicator method // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 463. P. 022064. DOI: 10.1088/1757-899X/463/2/022064
28. Петров А.С., Юзмухаметов А.М., Куприянов В.Н., Андрейцева К.С. Определение характера увлажнения ограждающих конструкций экспериментальным методом цветовой индикации // Строительные материалы. 2019. № 6. С. 24–28. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-771-6-24-28
29. Ельчиццева Т.Ф. Безопасная эксплуатация наружных ограждающих конструкций зданий при неблагоприятном воздействии среды // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 5 (128). С. 570–588. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.5.570-588
30. Ельчиццева Т.Ф., Ерофеев В.Т., Лобанов В.А. Определение солесодержания в материале наружных стен здания промышленного предприятия // Строительные материалы. 2019. № 6. С. 34–39. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-771-6-34-39
31. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
32. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики. Минск : Изд-во академии наук БССР, 1961. 525 с.
33. Künzel H.M. Simultaneous heat and moisture transport in building components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters. Stuttgart : IRB Verlag, 1995. 65 p.
34. Лукьянов В.И. Нестационарный массоперенос в строительных материалах и конструкциях при решении проблемы повышения защитных качеств ограждающих конструкций зданий с влажным и мокрым режимом : дис. ... д-ра техн. наук. М., 1993. 653 с.
35. Богословский В.Н. Основы теории потенциала влажности материала применительно к наружным ограждениям оболочки зданий : мон. М. : МГСУ, 2013. 112 с.
36. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Зубарев К.П. Анализ расположения зоны наибольшего увлажнения в ограждающих конструкциях с различной толщиной теплоизоляционного слоя // Жилищное строительство. 2016. № 6. С. 8–12.
37. Гагарин В.Г., Зубарев К.П. Применение теории потенциала влажности к моделированию нестационарного влажностного режима ограждений //

Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 4 (127). С. 484–495. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.4.484-495

38. Gagarin V., Akhmetov V., Zubarev K. Assessment of enclosing structure moisture regime using moisture potential theory // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 193. P. 03053. DOI: 10.1051/matecconf/201819303053

39. Gagarin V., Akhmetov V., Zubarev K. Moisture behavior calculation of single-layer enclosing struc-

ture by means of discrete-continuous method // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 170. P. 03014. DOI: 10.1051/matecconf/201817003014

40. Gagarin V.G., Akhmetov V.K., Zubarev K.P. Unsteady-state moisture behavior calculation for multilayer enclosing structure made of capillary-porous materials // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 177. P. 012021. DOI: 10.1088/1755-1315/177/1/012021

*Поступила в редакцию 31 октября 2019 г.*

*Принята в доработанном виде 2 ноября 2019 г.*

*Одобрена для публикации 31 января 2020 г.*

**О Б А В Т О Р АХ:** **Владимир Геннадьевич Гагарин** — доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией строительной теплофизики, член-корреспондент РААСН; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр., д. 21; РИНЦ ID: 292976, Scopus: 7003607376, Researcher ID: A-6011-2016, ORCID: 0000-0002-4810-6432; gagarinv@yandex.ru;

**Кирилл Павлович Зубарев** — преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 831037, Scopus: 57202815810, Researcher ID: F-6850-2019, ORCID: 0000-0002-7609-8521; ZubarevKP@gic.mgsu.ru.

## REFERENCES

1. Musorina T.A., Zaborova D.D., Petrichenko M.R. Mathematical apparatus for determination of homogenous scalar medium thermal resistance. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14(8):1037-1045. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.8.1037-1045 (rus.).
2. Poddaeva O., Kubenin A., Gribach D. Measures of improving the accuracy of the calculation of energy efficiency and energy saving of construction transport infrastructure. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018; 692:490-497. DOI: 10.1007/978-3-319-70987-1\_52
3. Kozlov V.V. Accuracy of calculation of the resistant resistance of heat transfer and temperature fields. *Building and reconstruction*. 2018; 3(77):62-74. (rus.).
4. Ivanov V.V., Karaseva L.V., Tikhomirov S.A. Heat transfer in boundary layers on radiating surfaces with gradient flow. *Engineering Journal of Don.* 2017; 3(46):10. (rus.).
5. Datciuk T.A., Anshukova E.A. Impact of the heat-humidity regime of warm attics on the condition of enclosing structures. *Bulletin of Civil Engineers*. 2019; 5(76):160-165. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-5-160-165 (rus.).
6. Perekhzhentsev A.G. Design of external walls of high-rise buildings with specified temperature and humidity conditions. *Bulletin of Volgograd State University* [ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 15. Выпуск 2, 2020  
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 15. Issue 2, 2020. 2019. Т. 14. Вып. 4 (127). С. 484–495. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.4.484-495
7. Beregovoy A.M., Beregovoy V.A. Temperature-moisture state of external enclosure structures in the conditions of phase transitions of moisture and aggressive impact of the environment. *Regional Architecture and Engineering*. 2017; 3(32):99-104. (rus.).
8. Gorokhovskiy A.G., Shishkina E.E., Starova E.V., Mikov A.A. Wood drying processes under essentially nonisothermal conditions. *Russian Forestry Journal*. 2018; 2(362):88-96. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.88 (rus.).
9. 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.).
10. Kaczmarek A., Wesolowska M. Factors affecting humidity conditions of a face wall layer of a heated building. *Procedia Engineering*. 2017; 193:205-210. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.06.205
11. Latif E., Wijeyesekera D.C., Mohammad S. Impact of moistened bio-insulation on whole building energy use. *MATEC Web of Conferences*. 2017; 103:03020. DOI: 10.1051/matecconf/201710303020
12. Hroudova J., Korjenic A., Zach J., Mitterböck M. Development of a thermal insulation plaster with natural fibres and the investigation of its heat and

- moisture behaviour. *Bauphysik*. 2017; 39(4):261-271. DOI: 10.1002/bapi.201710030 (ger.).
13. Almeida R.M.S.F., Barreira E. Monte Carlo simulation to evaluate mould growth in walls: The effect of insulation, orientation, and finishing coating. *Advances in Civil Engineering*. 2018; 8532167. DOI: 10.1155/2018/8532167
14. Guimaraes A.S., Ribeiro I.M., de Freitas V.P. Numerical models performance to predict drying liquid water in porous building materials: Comparison of experimental and simulated drying water content profiles. *Cogent engineering*. 2017; 4(1):1365572. DOI: 10.1080/23311916.2017.1365572
15. Guimaraes A.S., Ribeiro I.M., Freitas T.S. TRHUMIDADE — A water diffusivity model to predict moisture content profiles. *Cogent engineering*. 2018; 5(1):1459007. DOI: 10.1080/23311916.2018.1459007
16. Melin C.B., Hagentoft C.E., Holl K., Nik V.M., Kilian R. Simulations of moisture gradients in wood subjected to changes in relative humidity and temperature due to climate change. *Geosciences*. 2018; 8(10):378. DOI: 10.3390/geosciences8100378
17. Gamayunova O., Musorina T., Ishkov A. Humidity distributions in multilayered walls of high-rise buildings. *E3S Web of Conferences*. 2018; 33:02045. DOI: 10.1051/e3sconf/20183302045
18. Belkharchouche D., Chaker A. Effects of moisture on thermal conductivity of the lightened construction material. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2016; 41(17):7119-7125. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.01.160
19. Jin H.Q., Yao X.-L., Fan L.-W., Xu X., Yu Z.-T. Experimental determination and fractal modeling of the effective thermal conductivity of autoclaved aerated concrete: Effects of moisture content. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2016; 92:589-602. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.08.103
20. Hoseini A., Bahrami A. Effects of humidity on thermal performance of aerogel insulation blankets. *Journal of Building Engineering*. 2017; 13:107-115. DOI: 10.1016/j.jobr.2017.07.001
21. Georget F., Prevost J.H., Huet B. Impact of the microstructure model on coupled simulation of drying and accelerated carbonation. *Cement and Concrete Research*. 2018; 104:1-12. DOI: 10.1016/j.cemconres.2017.11.008
22. Pastushkov P.P., Grinfel'd G.I., Pavlenko N.V., Bespalov A.E., Korkina E.V. Settlement determination of operating moisture of autoclaved aerated concrete in different climatic zones. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2015; 2:60-69. DOI: 10.22227/1997-0935.2015.2.60-69 (rus.).
23. Pastushkov P.P. *Influence of the moisture regime of encloses structures with external plaster layers to the energy efficiency of heat-insulating materials : dis. ... cand. tech. sciences*. Moscow, 2013; 169. (rus.).
24. Alekseenko V.N., Mikheyeva Yu.L. Effects of climatic factors on the temperature and humidity conditions fencing structures orthodox churches XVIII–XIX centuries. *Biospheric Compatibility: Human, Region, Technologies*. 2017; 1(17):20-28. (rus.).
25. Alekseenko B.N., Miheeva Y.L. Results of the study of temperature-humidity regime of the cathedral of St. Peter and Paul in the city of Simferopol. *Industrial and Civil Engineering*. 2017; 7:46-51. (rus.).
26. Kupriyanov V.N., Shafigullin R.I. Protective characteristics of enclosing structures exposed to electromagnetic radiation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 463:022061. DOI: 10.1088/1757-899X/463/2/022061
27. Petrov A.S., Kupriyanov V.N. Determination of humidity conditions of enclosing structures by the color indicator method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 463:022064. DOI: 10.1088/1757-899X/463/2/022064
28. Petrov A.S., Yuzmuhamedov A.M., Kupriyanov V.N., Andreitseva K.S. Determination of the nature of humidification of enclosing structures by experimental method of color indication. *Construction Materials Russia*. 2019; 6:24-28. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-771-6-24-28 (rus.).
29. Elchishcheva T.F. Safe usage of external enclosures under adverse environmental exposure. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2019; 14:5(128):570-588. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.5.570-588 (rus.).
30. Elchishcheva T.F., Erofeev V.T., Lobanov V.A. Determination of salt content in the material of external walls of the building of an industrial enterprise. *Construction materials Russia*. 2019; 6:34-39. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-771-6-34-39 (rus.).
31. Fokin K.F. *Building heat engineering of enclosing parts of buildings*. Moscow, ABOK-PRESS Publ., 2006; 256. (rus.).
32. Lykov A.V. *Theoretical foundations of building thermal physics*. Minsk, Publishing House of the Academy of Sciences of the BSSR, 1961; 525. (rus.).
33. Künzel H.M. *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters*. Stuttgart, IRB Verlag, 1995; 65.
34. Lukyanov V.I. *Unsteady-state mass transfer in building materials and structures when the problem of improving the protective properties of encloses structures of buildings with moist and wet conditions is been solved : diss. ... dr. tech. sciences*. Moscow, 1993; 653. (rus.).
35. Bogoslovskiy V.N. *Fundamentals of material potential moisture theory in respect to the outer building envelope: monograph*. Moscow, MGSU, 2013; 112. (rus.).
36. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Zubarev K.P. Analysis of the zone location of maximum moistering

in the wall systemwith different thickness of insulation layer. *Housing construction.* 2016; 6:8-12. (rus.).

37. Gagarin V.G., Zubarev K.P. Moisture potential theory application for modelling of enclosing structure unsteady-state moisture regime. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14:4(127):484-495. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.4.484-495 (rus.).

38. Gagarin V., Akhmetov V., Zubarev K. Assessment of enclosing structure moisture regime using moisture potential theory. *MATEC Web of Conferences.* 2018; 193:03053. DOI: 10.1051/matecconf/201819303053

39. Gagarin V., Akhmetov V., Zubarev K. Moisture behavior calculation of single-layer enclosing structure by means of discrete-continuous method. *MATEC Web of Conferences.* 2018; 170:03014. DOI: 10.1051/matecconf/201817003014

40. Gagarin V.G., Akhmetov V.K., Zubarev K.P. Unsteady-state moisture behavior calculation for multilayer enclosing structure made of capillary-porous materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2018; 177:012021. DOI: 10.1088/1755-1315/177/1/012021

*Received October 31, 2019.*

*Adopted in a revised form on November 2, 2019.*

*Approved for publication on January 31, 2020.*

**BIONOTES:** **Vladimir G. Gagarin** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of thermal laboratory, Corresponding Member of RAACS; **Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Science (NIISF RAACS)**; 21 Lokomotivnyy travel, Moscow, 127238, Russian Federation; ID RISC: 292976, Scopus: 7003607376, Researcher ID: A-6011-2016, ORCID: 0000-0002-4810-6432; gagarinvg@yandex.ru;

**Kirill P. Zubarev** — teacher of the Department of Ventilation and Heat and Gas Supply; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 831037, Scopus: 57202815810, Researcher ID: F-6850-2019, ORCID: 0000-0002-7609-8521; ZubarevKP@gic.mgsu.ru.

# ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 330:004.94:711.168(430)

DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.257-270

## Инвестиционное планирование мероприятий по санации индустриальной жилой застройки Берлина на основе имитационных моделей

С.В. Колобова

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

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Рассмотрен немецкий опыт инвестиционной политики проведения санации индустриальных панельных жилых зданий. На основании научных исследований сенатом Берлина было принято решение о необходимости санации панельного жилого фонда города. Немецкими учеными выработана инвестиционная политика поддержки программы санации панельного жилого фонда. Особое вниманиеделено инвестиционному планированию и анализу инвестиционных вложений в программу.

**Материалы и методы.** Выполнен анализ инвестиционного планирования мероприятий по санации индустриальной жилой застройки Берлина, проводимой в 1990–2000 гг. Исследована классификация процедуры окупаемости инвестиций. Рентабельность инвестиционных проектов определяется с помощью известных методов инвестиционного учета: статических и динамических. Изучена немецкая концепция комплексной системы инвестиционного анализа через программы имитационной модели SIB.

**Результаты.** Модель моделирования SIB является частью общей системы инвестиционного анализа. Выявленные в модели критерии отбора должны способствовать анализу инвестиций и содействовать поиску решений. Программа OSIM выполняет фактическое моделирование платежеспособности и инвестиционных счетов. В программе SOSIM задаются данные для управления программой моделирования OSIM. В программе SAUS вводятся и сохраняются управляющие данные. Программы нацелены на их систематическое применение, чтобы сделать рассматриваемые инвестиции прозрачными и объяснимыми.

**Выходы.** Рентабельность программы санации определялась с помощью известных методов инвестиционного моделирования. При санации панельного жилого фонда были достигнуты одновременно следующие цели: получены параметры восстановления физического и морального износа жилого фонда города, сокращения эксплуатационных расходов, обеспечения качества проживания граждан; критерии спроса на жилищно-коммунальные услуги и показатели приемлемой стоимости аренды, удовлетворенность арендаторов по соотношению цены и качества, местоположению и социальным объектам; возможности трудоустройства, выявление спроса на доступное жилье. Положительные результаты применения методов инвестиционного моделирования можно применить для расчета рентабельности бюджетных инвестиций в государственную программу реновации в Москве.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** санация, реновация, жилая застройка, панельные дома, инвестиционный проект, программа моделирования, симуляционная модель, инвестиционный анализ

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Колобова С.В. Инвестиционное планирование мероприятий по санации индустриальной жилой застройки Берлина на основе имитационных моделей // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 257–270. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.257-270

## Investment planning of measures for rehabilitation of industrial residential buildings in Berlin based on simulation models

Svetlana V. Kolobova

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

### ABSTRACT

**Introduction.** The article examines the German experience of the investment policy of rehabilitation of industrial panel residential buildings. Based on scientific research, the Senate of Berlin decided on the need for rehabilitation of panel housing of the city. German scientists developed an investment policy for supporting the programme of panel housing rehabilitation. Special attention was paid to investment planning and analysis of investments in the programme.

**Materials and methods.** Investment planning of measures for rehabilitation of industrial residential buildings in Berlin carried out from 1990 to 2000 was analysed in the course of the study. The classification of investment payback procedure was investigated. The profitability of investment projects is determined by well-known methods of investment accounting: static and dynamic ones. The German concept of integrated investment analysis system through SIB simulation model programmes is studied.

**Results.** The SIB simulation model is a part of the general investment analysis system. The selection criteria identified in the model should promote investment analysis and facilitate the search for solutions. The OSIM programme performs the actual simulation of solvency and investment accounts. The SOSIM programme specifies the data to control the OSIM simulation programme. Control data are entered and stored in the SAUS programme. The programmes aim at their systematic application to make the considered investments transparent and explainable.

**Conclusions.** The profitability of the rehabilitation programme was determined using well-known methods of investment simulation. When rehabilitating the panel houses, the following parameters were obtained: restoration of physical and moral deterioration of the housing stock, reduction of operating costs, providing people living quality, criteria of demand for housing services and acceptable rent cost, satisfaction of tenants in terms of price-to-quality relation, location and social facilities, employment opportunities, identifying demand for affordable housing. The positive results of the applying investment modeling methods can be used to calculate the profitability of budget investments in the state programme of renovation in Moscow.

**KEY WORDS:** rehabilitation, renovation, residential housing, panel houses, investment project, simulation programme, simulation model, investment analysis

**FOR CITATION:** Kolobova S.V. Investment planning of measures for rehabilitation of industrial residential buildings in Berlin based on simulation models. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(2):257-270. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.257-270 (rus.).

## **ВВЕДЕНИЕ**

Объединенная Германия в 1990–2000 гг. активно решала проблему устранения наступившего физического и морального износа панельного жилого фонда. В Федеративной Республике Германия до объединения (1990 г.) около двух миллионов человек проживали в 500–600 тыс. квартир в панельных домах крупных населенных пунктов. В ГДР с 1955 до 1990 гг. было построено около 6,35 млн квартир и около 2,1 млн квартир в многоквартирных панельных домах. Руководство страны принимало решение о судьбе панельных жилых домов в разных землях по-разному, исходя из фактического состояния построек, потребности в жилье в конкретном регионе и социологических опросов местного населения. В некоторых землях ветхие панельные дома были снесены. В Восточном Берлине 700 тыс. человек проживали в новостройках послевоенного периода, в 273 тыс. панельных квартирах в 17 крупных населенных пунктах. «В муниципальном районе Марцан насчитывалось около 58 000 квартир с 157 000 жителями, муниципальный район Хохеншенхаузен имел 42 000 квартир для 120 000 граждан и Хеллерсдорф располагал 45 000 квартир со 111 000 жителями. В западной части Берлина в районах Нойкельн и Райникendorf возникли уже в 60-х гг. два больших поселка «Гропиусштадт» и «Маркишес фиртель» с 17 000 квартирами в панельных домах на 80 000 человек» [1]. Сенатом Берлина было принято реше-

ние о необходимости санации панельного жилого фонда города после проведенных научных исследований строительными и экспертными организациями [1, 2]. Немецкие ученые разработали инвестиционную политику поддержки программы санации панельного жилого фонда [3–6]. Особое внимание удалено инвестиционному планированию и анализу инвестиционных вложений в программу [5].

Инвестиционному планированию и анализу вложенных инвестиций посвящены многие труды иностранных и отечественных специалистов. В учебных пособиях раскрывается понятие инвестиций в современных условиях, планирование их окупаемости, расчеты рисков [7–9]. Эти расчеты можно выполнить с помощью методов инвестиционного анализа [10]. В ряде случаев должнарабатываться альтернативная инвестиционная стратегия, рассматриваются новые методы построения и получения традиционных и альтернативных премий за риск, построения стратегических и тактических многофакторных портфелей, а также оценки связанных с ними систематических инвестиционных показателей [11–14].

В отечественных учебниках по инвестиционному планированию даются различные определения понятия «инвестиционный проект». В соответствии с Федеральным законом от 25 февраля 1999 г. № 39-ФЗ «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляющейся в форме капитальных вложений»: «Инвестиционный проект — обосно-

вание экономической целесообразности, объема и сроков осуществления капитальных вложений, в том числе необходимая проектная документация, разработанная в соответствии с законодательством Российской Федерации, а также описание практических действий по осуществлению инвестиций (бизнес-план)».

Успешная реализация государственной инвестиционной строительной программы во многом зависит от грамотной политики управления инвестициями при проведении строительных мероприятий. Профессиональное управление инвестициями и планирование инвестиционных мероприятий лежат в основе успешной инвестиционной деятельности.

Инвестиционно-строительную деятельность целесообразно структурировать. В своей работе «О новых задачах инвестиционно-строительной деятельности в контексте трендов пространственного развития России» И.Г. Лукманова, Н.Ю. Яськова заявляют, что «структурный анализ позволяет выделить следующие основные позиции инвестиционно-строительной деятельности: *секторальные*, позволяющие выявить по ряду признаков диспропорции в государственном и коммерческом секторе; *видовые* с оценкой уровней развития видов инвестиционно-строительной деятельности; *циклические* со свойственными несоответствиями инвестиционных, проектных и строительных циклов; *воспроизводственные*, взаимоувязывающие новое строительство с поддержанием и развитием имеющихся

капитальных фондов; *мотивационные* — с оценкой характера стратегической направленности деятельности субъектов строительства» [15].

В настоящее время назрела необходимость перенять передовой опыт управления инвестиционно-строительными проектами, носящими инновационный характер, так как в Москве с 2017 г. реализуется государственная инвестиционно-строительная жилищная программа реновации жилой застройки первого периода индустриального домостроения Москвы [16–21].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Следует отметить, что московские панельные 5-9-12-16-этажные жилые дома возводились в те же 1958–1990 гг. и были аналогичны сериям панельных жилых домов, построенных в Берлине. Для сравнения выполнена таблица с сериями жилых панельных и блочных жилых домов, возведенных в Берлине и в Москве в этот период<sup>1</sup> [4].

В результате многолетней эксплуатации домов как в Берлине, так и в Москве были выявлены схожие конструктивные дефекты, разрушения, деформации, требующие срочного вмешательства.

Общая сумма санации панельного жилого фонда г. Берлина составила 13 млрд немецких марок для 273 тыс. квартир на период с 1993 по 1997 гг.

<sup>1</sup> Уроки, извлеченные из реконструкции и эксплуатации промышленных 5-9-12-этажных домов типовой серии // Научный доклад ГУП МНИИТЭП. М., 2002.

**Табл. 1.** Сравнительная таблица серий индустриальных жилых домов, построенных в Берлине и в Москве в период 1958–1990 гг.

**Table 1.** Comparative table of industrial housing series built in Berlin and Moscow in the period from 1958 to 1990

Серии домов в Берлине / Housing series in Berlin	Год постройки / Years of construction	Аналогичные серии домов в Москве / Similar housing series in Moscow	Год постройки / Years of construction
Блочные / Frame-and-panel Q3A	1958–1990 1977–1990	I-510, II-18, II-68, II-209A	1956–1975 1956–1985 1961–1980 1961–1990
Однослойные к/б панельные / One-layer brick-and-concrete panel QX, QP	1960–1990	II-49 «П», II-57, I-515	1963–1980 1966–1985
Трехслойные ж/б панельные QX, QP / Three-layer concrete panel QX, QP	1960–1990	II-49 «Д», 1605 АМ,	1965–1980 1966–1982
Панельные / Panel P2	1962	II-07, II-32, II-35 K-7, I-510, I-515, 1МГ-300, 1605AM	1956–1969 1956–1975 1956–1970
Крупноразмерные панельные / Large-panel WHH GT	1958	II-49, 1605AM/9, 1605AM/12, I-515/9	1965–1980 1966–1985
Крупноразмерные панельные / Large-panel WBS 70	1971	II-68/16 II-42	1976–1995 1972–1979

Программа санации панельных жилых зданий была поддержана в Федеральном кредитном учреждении Германии. Строительно-эксплуатационным организациям, занимающимся санацией и модернизацией панельного жилого фонда, выделена в общей сложности ссуда в размере 70 млрд немецких марок под низкие проценты. Процентные ставки составили около 1,5–2,5 %, т.е. ниже, чем на рынке капитала, кредитов и займов. По условиям кредитования первые пять лет строительно-эксплуатационные организации освобождались от погашения кредита. Поэтому, в частности, первые пять лет эта программа имела большую экономическую ценность.

При выделении государством таких инвестиций особое внимание уделяется экономическим расчетам и целесообразности проведения работ.

Немецкими учеными Ханнеман, Хенслер, Шелле, Каллея, Рихтлине, Флэмих, Скоба были выполнены исследования по планированию и анализу экономической эффективности инвестиций в проект по санированию панельного жилья в Берлине [1–6].

Данные инвестиционного планирования приведены на рис. 1.

Главная задача инвестиционного проекта — анализ инвестиций. Это планирование заключается в двух этапах: выявлении данных и оценки данных, которые можно в свою очередь разделить на пять уровней:

- 1) описание инвестиционных возможностей;
- 2) определение денежных потоков;
- 3) проведение финансового анализа;
- 4) проведение анализа рисков;
- 5) оценка результатов для принятия решений.

Экономическое проведение инвестиционного анализа предполагает, что процесс анализа в значительной степени формализован. Рентабельность инвестиционных проектов определяется с помощью известных методов инвестиционного учета: статических и динамических [23, 24].

Каждый метод включает в себя определенные подходы к определению экономических показателей. Была составлена классификация процедуры окупаемости инвестиций, которая представлена на рис. 2 [5].

Следует отметить, что статические методы окупаемости инвестиций не учитывают временных различий в случае возникновения инвестиционных платежей. Но при строительстве зданий, особенно многоэтажных, очень важную роль играет временной фактор и распределение отдельных платежей во времени, в связи с длительным периодом планирования. Поэтому прежде всего для анализа рентабельности инвестиций учитываются динамичные методы инвестиционного учета.

Чтобы выполнить достоверные расчеты применяют методы моделирования. Проблемный анализ экономики и рисков для инвестиций в строительство должен происходить с помощью моделей моделирования. Серия выплат инвестиций будет производиться симуляционно, а затем станет основой для фактического анализа инвестиций. Поэтому были разработаны имитационные модели инвестиционного анализа проводимых строительных мероприятий.

«Имитационное моделирование (simulation) является одним из важнейших методов анализа эко-

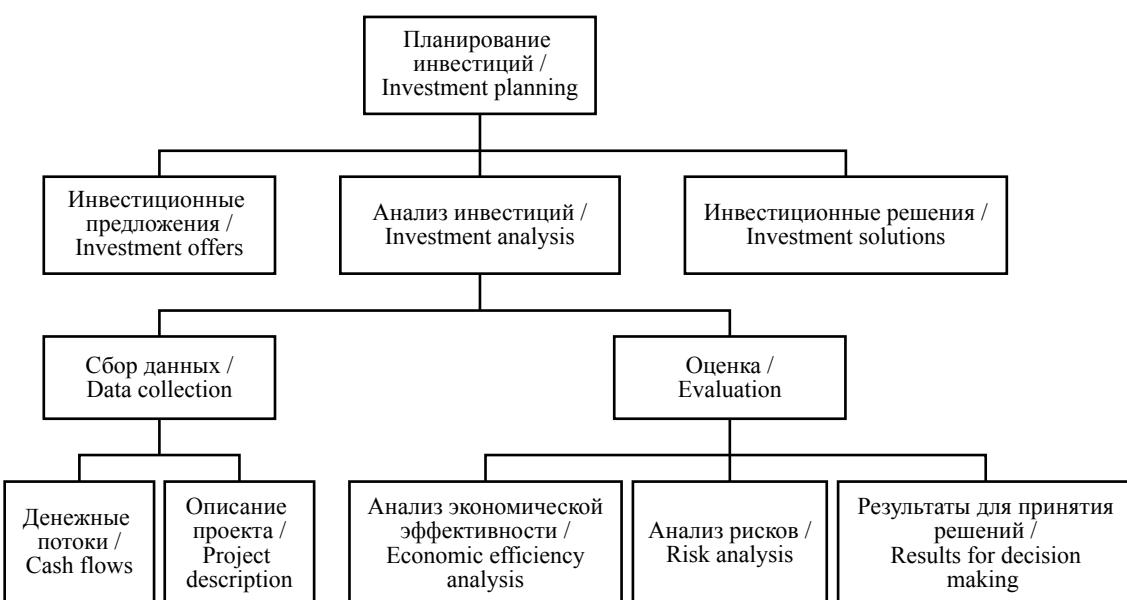


Рис. 1. Данные инвестиционного планирования [5]

Fig. 1. The data of investment planning [5]

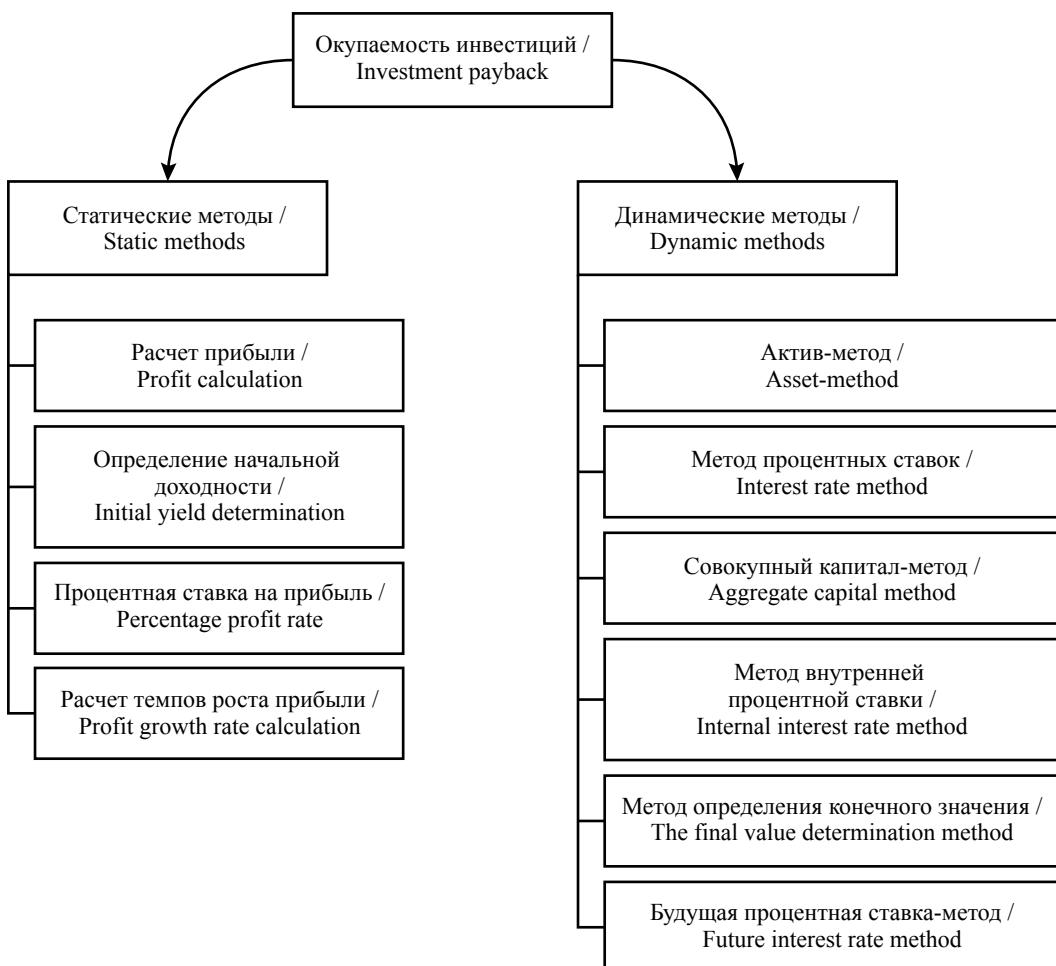


Рис. 2. Классификация процедуры окупаемости инвестиций [5]

Fig. 2. Classification of investment payback procedures [5]

номических систем. В общем случае под имитацией понимают процесс проведения экспериментов с математическими моделями сложных систем реального мира» [25].

«В исследовании социально-экономических систем имитационное моделирование занимает одно из первых мест по частоте использования по отношению к другим методам прогнозирования и анализа бизнес-процессов. Востребованность методологии имитационного моделирования (ИМ) привела к бурному развитию инструментальных средств компьютерного имитационного моделирования. Эти разработки позволили уже сегодня существенно сократить трудозатраты и снизить требования к уровню специальной подготовки исследователей и тем самым устраниТЬ один из главных недостатков, изначально свойственный имитационному моделированию... Суть имитационного моделирования заключается в имитации процесса функционирования системы во времени, соблюдении таких же соотношений длительности операций как в системе — оригинале. При этом имитируются элементарные

явления, составляющие процесс; сохраняется их логическая структура, последовательность протекания во времени. Результатом ИМ является получение оценок характеристик системы» [26].

С развитием электронно-вычислительной техники стали популярны имитационные методы моделирования для анализа систем, в которых преобладающими являются стохастические воздействия [27].

В экономических исследованиях и практической деятельности широко используется понятие тренда (тенденции). Это эмпирическая закономерность изменения во времени того или иного экономического показателя, полученная путем обработки данных о его значениях в предыдущие моменты времени. Достаточно часто экономические решения принимаются на основе предположений о том, что эта же закономерность будет иметь место и в дальнейшем (хотя бы на какой-то срок). Совсем обойтись без таких предположений нельзя: иначе стало бы невозможным никакое перспективное планирование. Однако при составлении планов следует кри-

тически анализировать имеющиеся тренды и учитывать возможность их нарушения [28–34].

Цели проведения подобных экспериментов могут быть самыми различными — от выявления свойств и закономерностей исследуемой системы до решения конкретных практических задач.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Имитационная модель не имеет задачи автоматизировать инвестиционный анализ и разработать предложения по принятию решений. Цель заключается в систематическом подходе, чтобы сделать рассматриваемые инвестиции в вашей платежной серии прозрачными. Выявленные в модели критерии отбора должны способствовать анализу инвестиций и содействовать поиску решений. Таким образом, характерной чертой модели является ее использование в качестве инструмента. Как и в случае с любым инструментом, правильное применение экспертизы является основой для качества результатов. Модель моделирования SIB является частью общей системы инвестиционного анализа. Вся система состоит из трех подсистем:

- 1) подсистема ДАННЫЕ;
- 2) подсистема МОДЕЛИРОВАНИЕ;
- 3) подсистема АНАЛИЗ.

Для моделирования модели SIB, подсистема ДАННЫЕ выполняет задачу обеспечения возможности установления входных значений. Подсистема моделирования делится на три части:

- 1) стохастика/прогноз;
- 2) учет;
- 3) инвестиционный счет.

В рамках подсистемы МОДЕЛИРОВАНИЕ из субъективных профилей риска стохастических величин извлекаются текущие значения, прогнозируемые периоды выполнения зависящих от времени величин в течение планового периода, а также вычисляются периодические поступления, полученные в результате инвестирования. Данные, полученные в стохастическом моделировании, оцениваются в подсистеме АНАЛИЗ. Концепция комплексной системы инвестиционного анализа представлена на рис. 3.

Существуют детерминированные, стохастические и стохастические, зависящие от времени, характеристики модели. Детерминированные размеры в модели характеризуются значением или указанием. Стохастические размеры — это те, которые подвержены неопределенным ожиданиям. Зависящие от времени стохастические величины изменяются в течение планового периода. В этом случае требуется дополнительная информация, позволяющая прогнозировать время выполнения значений периода.

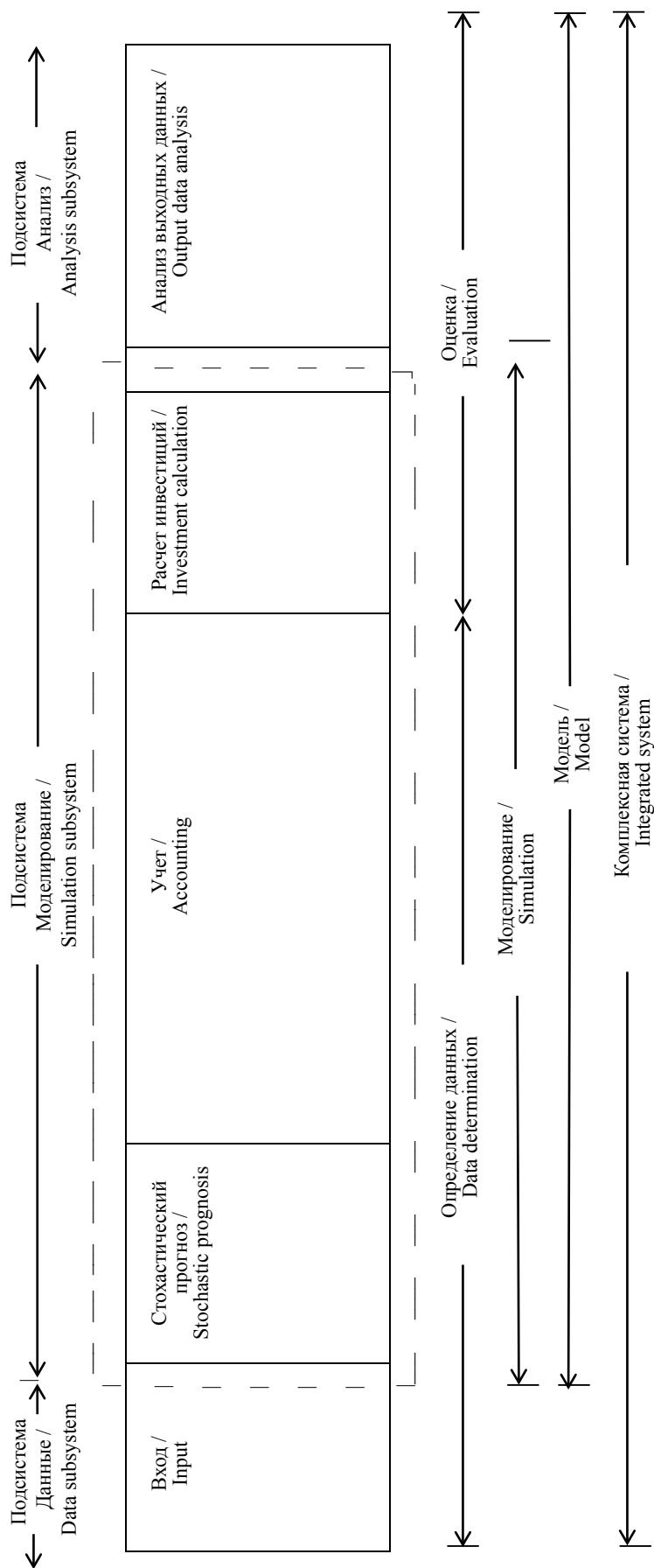
Имитационная модель SIB была реализована в виде программной системы FORTRAN. Отдельные подпрограммы и файлы данных программной системы и их взаимосвязи показаны на рис. 4. В файле данных ввод данных принимает данные входной формы. В программе SOSIM задаются показатели для управления программой моделирования OSIM. С SOSIM, например, можно задать номер эксперимента и количество выполняемых запусков моделирования.

В программе SAUS вводятся и сохраняются управляющие данные для программы формирования сигнала выключения. Контрольные данные — это информация о типе и отображении создаваемых статистических распределений.

Программа OSIM выполняет фактическое моделирование платежеспособности и инвестиционных счетов. Течение программы OSIM представлено графиком на рис. 5. С помощью программы OSIM можно выполнять не более 1000 моделей. Все полученные результаты объединяются в одну запись для каждого прогона моделирования и записываются в созданный файл output.dat. «Наход генерируется 460 индивидуальных значений, так что при 1000 имитационных работах создаются 460 000 индивидуальных значений, которые затем могут быть оценены с помощью программы».

Время вычисления программ OSIM и SAUS зависит от количества экспериментов по моделированию, количества выполняемых в эксперименте процессов моделирования и объема требуемых оценок.

В табл. 2 представлен обзор основных входных размеров симуляционной модели SIB и ее характера.



**Рис. 3.** Концепция комплексной системы анализа инвестиций в высотных зданиях  
**Fig. 3.** The concept of an integrated investment analysis system for high-rise buildings

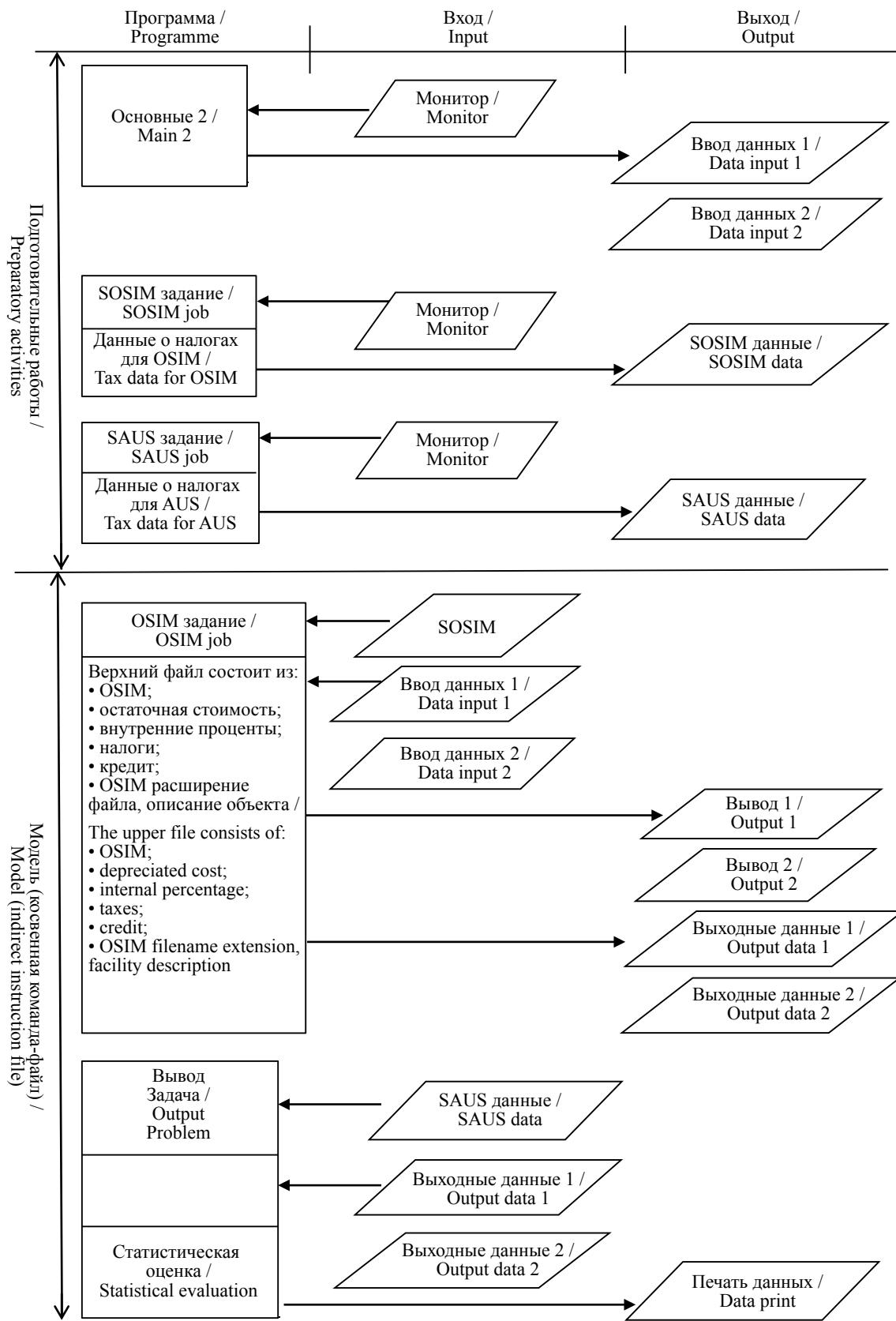


Рис. 4. Построение модели моделирования SIB

Fig. 4. Construction of a SIB simulation model

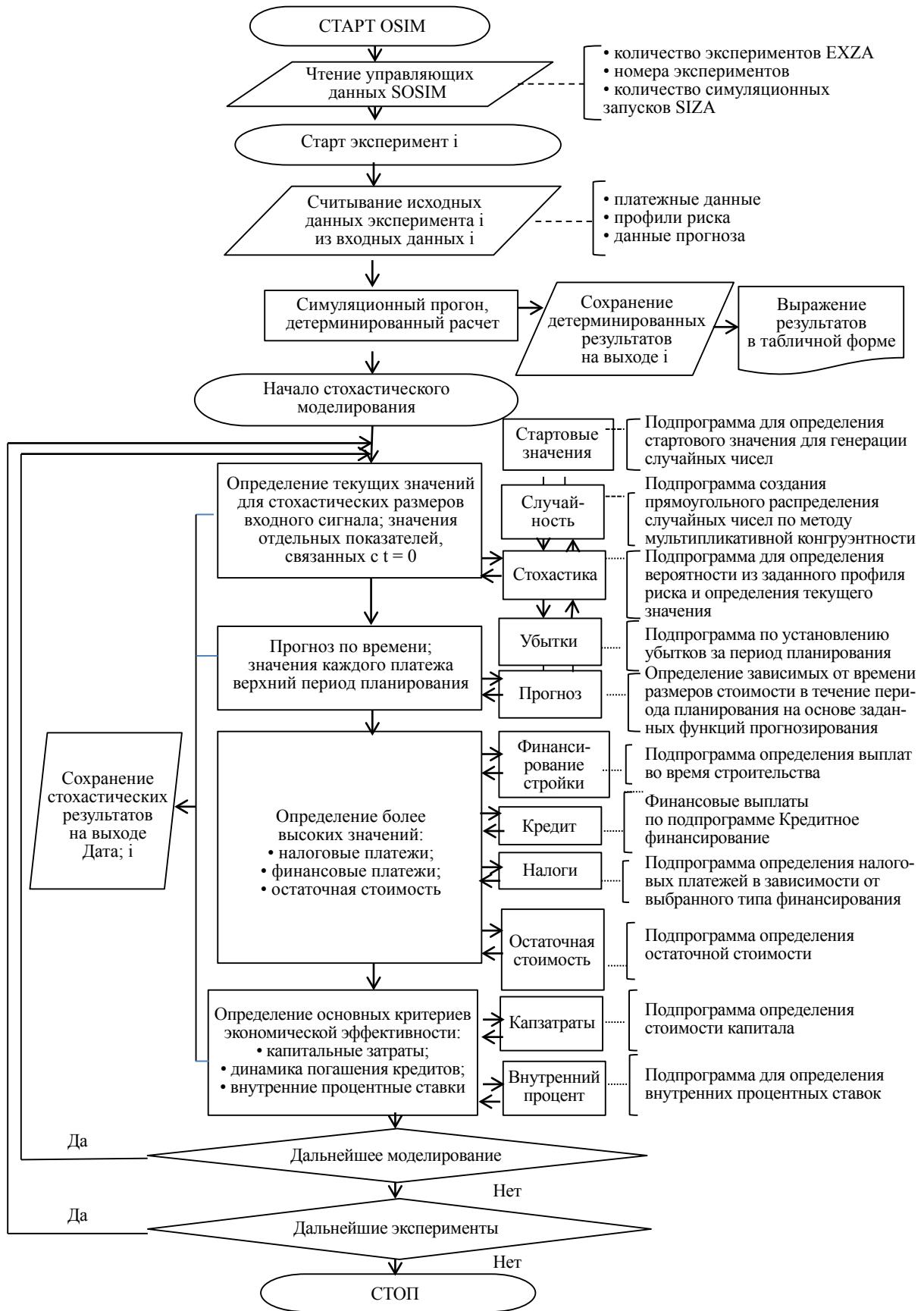
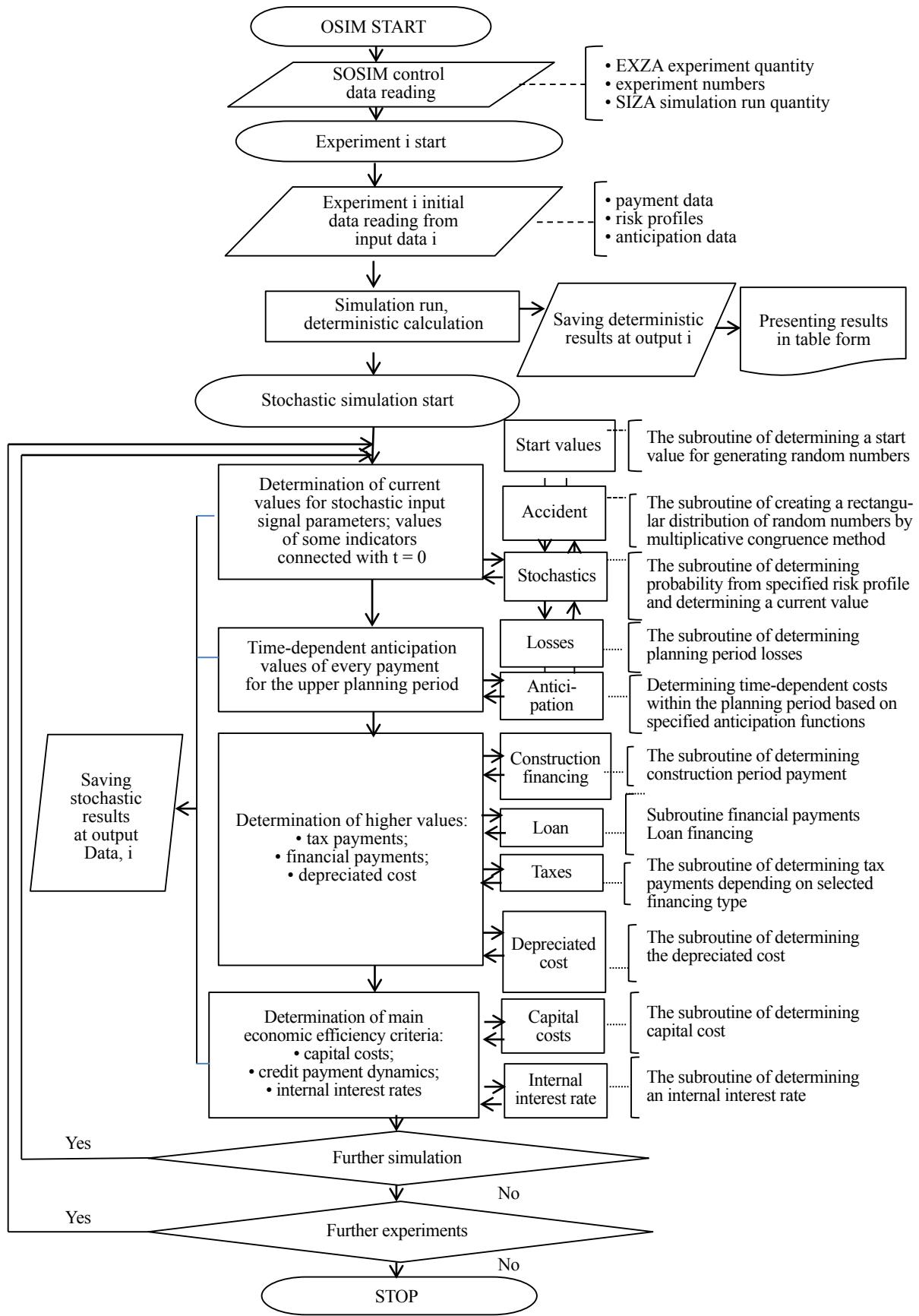


Рис. 5. Блок-схема программы OSIM



**Табл. 2.** Основные входные параметры симуляционной модели SIB и ее характера

**Table 2.** The main input parameters of the SIB simulation model and its character

Размеры ввода / Input parameters	Характер / Character
Начало строительных работ / Start of construction activities	Детерминированный / Deterministic
Срок строительства / Construction period	
Процентные ставки по калькуляции / Interest rates on calculation	
Тип финансирования / Financing type	
Суммы кредита / Loan values	
Бекселя / Notes, bills	
Виды погашения кредитов / Credit repayment types	
Налоговые ставки / Tax rates	
Расчетные ставки взносов и налоговые отчисления / Assessment rates and tax payments	
Единичные расценки / Costing	
Стоимость земли / Land value	Статистический / Stochastic
Стоимость строительства зданий и сооружений / Building and installation construction costs	
Процентные ставки по кредиту / Loan interest	
Лизинговый платеж / Lease payment	
Стоимость земли / Land cost	Статистический, зависящий от времени / Stochastic, depending on time
Стоимость зданий и сооружений / Building and installation costs	
Стоимость эксплуатации зданий и сооружений без учета административных (накладных расходов) / Building and installation maintenance costs without administrative (indirect) costs	
Доходы от аренды / Rental revenue	

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Экономические методы санации панельных жилых домов разработаны в берлинских строительных научно-исследовательских институтах, строительных и жилищно-коммунальных компаниях, специалистами по планированию, управлению и самоуправлению жилищным фондом. Рентабельность программы санации определялась с помощью известных методов инвестиционного моделирования. При санации панельного жилого фонда были достигнуты одновременно следующие цели: получены параметры восстановления физического и морального износа жилого фонда города, сокращения эксплуатационных расходов, обеспечения качества проживания граждан; критерии спроса на жилищно-коммунальные услуги и показатели приемлемой стоимости аренды, удовлетворенность арендаторов

по соотношению цены и качества, местоположению и социальным объектам; возможности трудоустройства; выявление спроса на доступное жилье.

Программа реновации в г. Москве, в соответствии с законодательством, стартовала в 2017 г. и рассчитана до 2032 г. В Москве на реализацию программы реновации жилищного фонда выделяется около 100 млрд рублей ежегодно. Всего до 2032 г., в общей сложности, планируется освоить 1,5 трлн бюджетных рублей, заложенных на финансирование адресной инвестиционной программы. Положительные результаты берлинских методов инвестиционного моделирования можно применить для расчета рентабельности бюджетных инвестиций в государственную программу реновации в Москве, что позволит рассчитать денежные поступления от эксплуатации обновленного жилого фонда столицы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kalleja H., Flämig D. (Hrsg.) Plattenbausanierung. Instandsetzung, städtebauliche Entwicklung und Finanzierung. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 1999. Pp. 3, 6, 121–144, 150. DOI: 10.1007/978-3-642-59962-0
2. Bracket H. Policies to promote the modernization and repair of rental housing in the land of Brandenburg in the modernization of the market Berlin. Brandenburg 4, 1998. P. 6.
3. Bracket H. Savings accounts for services offset in construction. Dusseldorf : Werner, 1992. Pp. 6, 8, 11, 13, 18, 23.
4. Hannemann C. Die Platte Industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. Braunschweig, Wiesbaden :

- Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1996. Pp. 25, 46. DOI: 10.1007/978-3-322-91762-1
5. Hensler F. *Investitionsanalyse bei Hochbauten: Wirtschaftlichkeits- u. Risikoanalyse von Investitionen in Büro- u. Geschäftsgebäude*. Wiesbaden : Bauverlag, 1986. Pp. 2, 63–68, 97–100.
6. Clip H. Policies to promote the modernization and repair of housing for rent in Brandenburg in the modernization market Berlin, Brandenburg 4: savings accounts for services classification in the construction industry. Düsseldorf : Werner, 1992. Pp. 6, 8, 11, 13, 18, 23.
7. Hill J. *Environmental, Social, and Governance (ESG) investing: A balanced analysis of the theory and practice of a sustainable portfolio*. Academic Press, 2020. Pp. 285–296.
8. Ielpo F., Merhy C., Simon G. *Engineering investment process*. ISTE Press — Elsevier, 2017. Pp. 410–420.
9. Canto V.A. *Economic disturbances and equilibrium in an integrated global economy: investment insights and policy analysis*. Academic Press, 2018. Pp. 401–415.
10. Marugan A.P., Marquez F.P.G. *Decision-making management: a tutorial and applications*. Academic Press, 2017. Pp. 11–25.
11. Jurczenko E. *Factor investing: from traditional to alternative risk premia*. ISTE Press – Elsevier, 2017. Pp. 102–106.
12. Tabellini G. *Culture and institutions: economic development in the regions of Europe* // *Journal of the European Economic Association*. 2010. Vol. 8. Issue 4. Pp. 677–716. DOI: 10.1111/j.1542-4774.2010.tb00537.x
13. Campante F.R., Do Q.-A. *Isolated capital cities, accountability, and corruption: evidence from US States* // *American Economic Review*. 2014. Vol. 104. Issue 8. Pp. 2456–2481. DOI: 10.1257/aer.104.8.2456
14. Drazen A., Eslava M. *Electoral manipulation via voter-friendly spending: Theory and evidence* // *Journal of Development Economics*. 2010. Vol. 92. Issue 1. Pp. 39–52. DOI: 10.1016/j.jdeveco.2009.01.001
15. Лукманова И.Г., Яськова Н.Ю. О новых задачах инвестиционно-строительной деятельности в контексте трендов пространственного развития России // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 6 (129). С. 779–780. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.6.774-784
16. Afanasev A.A., Kasyanov V.F., Lukmanova I.G., Silka D.N. *Synchronization of processes related to economic activity with stages of development of spatially-organized systems* // *International Journal of Economics and Financial Issues*. 2015. Vol. 5. Issue 3S. Pp. 121–124.
17. Кокошин А.А., Бартенев Б.И. Проблемы взаимозависимости безопасности и развития в стратегическом планировании в Российской Федерации: от целеполагания к прогнозированию // *Проблемы прогнозирования*. 2015. № 6 (153). С. 6–17.
18. Шеина С.Г., Федоровская А.А. Комфортная среда жизнедеятельности: экологический аспект устойчивого развития городской территории // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2017. № 3 (19). С. 36–43.
19. Колобова С.В. Социально-экономическая эффективность реновации жилой застройки в Москве // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2018. № 3 (23). С. 64–73.
20. Kolobova S.V. Determining the market value of high-rise residential buildings based on evaluation of consumer properties // *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 33. Issue 02034. Pp. 1–9. DOI: 10.1051/e3sconf/20183302034
21. Kolobova S.V. Economic efficiency of the state program of renovation in Moscow // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 170. Issue 01082. Pp. 1–9. DOI: 10.1051/matecconf/201817001082
22. Сборщиков С.Б., Лазарева Н.В., Жаров Я.В. Математическое описание информационного взаимодействия в инвестиционно-строительной деятельности // Вестник МГСУ. 2014. № 5. С. 170–175. DOI: 10.22227/1997-0935.2014.5.170-175
23. Шинкарева Г.Н. Модель инжиниринговой схемы организации строительства в перспективе жизненного цикла объектов // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 9 (120). С. 1090–1105. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.9.1090-1105
24. Aziz D., Nawawi A.H., Ariff R.M. *ICT Evolution in Facilities Management (FM): Building Information Modelling (BIM) as the latest technology* // *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. 2016. Vol. 234. Pp. 363–371. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.10.253
25. Баркалов С.А., Белоусов В.Е., Маилян А.Л. Исследование систем организационного управления на основе имитационных моделей : мон. Саратов : Вузовское образование, 2015. С. 8, 13. URL: <http://www.iprbookshop.ru/29262.html>
26. Трофимова Л.А., Трофимов В.В. Информационное моделирование и инжиниринговые схемы организации управления как основа инновационного развития строительной отрасли // Вестник Омского университета. Серия: Экономика. 2016. № 3. С. 77–82.
27. Мишланова М.Ю., Чернышева Е.М. Структурная роль строительства в развитии российской экономики // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 4 (75). С. 173–180. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-4-173-180
28. Сборщиков С.Б., Шинкарева Г.Н., Маслова Л.А., Лейбман Д.М. Оценка эффективности управления реализацией строительного проекта в условиях воздействия случайных факторов // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 11 (110). С. 1240–1247. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.11.1240-1247
29. Плетнева Н.Г., Яркина К.В. Применение модели оценки качества жилищно-коммунальных услуг при формировании стратегии конкурентоспо-

собности предпринимательских структур // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 4 (75). С. 181–186. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-4-181-186

30. Чурбанов А.Е., Шамара Ю.А. Влияние технологии информационного моделирования на развитие инвестиционно-строительного процесса // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 7 (118). С. 826–835. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.7.824-835

31. Гинзбург А.В. BIM-технологии на протяжении жизненного цикла строительного объекта // Информационные ресурсы России. 2016. № 5 (153). С. 28–31.

32. Морозенко А.А., Воронков И.Е. Современные подходы к оценке надежности предприятий, участвующих в реализации инвестиционно-строительных проектов // Научное обозрение. 2017. № 12. С. 123–128.

33. Ануфриев Д.П., Холодов А.Ю. Мультиагентная имитационная модель регионального строительного кластера как гетерархической системы // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 12 (111). С. 1415–1423. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.12.1415-1423

Поступила в редакцию 16 октября 2019 г.

Принята в доработанном виде 2 ноября 2019 г.

Одобрена для публикации 31.01.2020 г.

О Б А В Т О Р Е: Светлана Витальевна Колобова — кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры социальных, психологических и правовых коммуникаций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 9062-2255, Scopus: 57190853602, ResearcherID: AAA-4778-2019, ORCID: 0000-0003-2551-7404; KolobovaSV@mgsu.ru.

## REFERENCES

1. Kalleja H., Flämig D. (Hrsg.) *Plattenbausanierung. Instandsetzung, städtebauliche Entwicklung und Finanzierung*. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 1999; 3,6,121-144,150. DOI: 10.1007/978-3-642-59962-0 (ger.).
2. Bracket H. *Policies to promote the modernization and repair of rental housing in the land of Brandenburg in the modernization of the market Berlin, Brandenburg 4*. 1998; 6.
3. Bracket H. *Savings accounts for services offset in construction*. Dusseldorf, Werner, 1992; 6,8,11,13,18,23.
4. Hannemann C. *Die Platte Industrialisierter Wohnungsbau in der DDR*. Braunschweig, Wiesbaden, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1996; 25,46. DOI: 10.1007/978-3-322-91762-1 (ger.).
5. Hensler F. *Investitionsanalyse bei Hochbauten: Wirtschaftlichkeits- u. Risikoanalyse von Investitionen in Büro- u. Geschäftsgebäude*. Wiesbaden, Bauverlag, 1986; 2,63-68,97-100. (ger.).
6. Clip H. *Policies to promote the modernization and repair of housing for rent in Brandenburg in the modernization market Berlin, Brandenburg 4: savings accounts for services classification in the construction industry*. Düsseldorf, Werner, 1992; 6,8,11,13,18,23.
7. Hill J. *Environmental, Social, and Governance (ESG) investing: A balanced analysis of the theory and practice of a sustainable portfolio*. Academic Press, 2020; 285-296.
8. Ielpo F., Merhy C., Simon G. *Engineering investment process*. ISTE Press — Elsevier, 2017; 410-420.
9. Canto V.A. *Economic disturbances and equilibrium in an integrated global economy: Investment insights and policy analysis*. Academic Press, 2018; 401-415.
10. Marugan A.P., Marquez F.P.G. *Decision-making management: A tutorial and applications*. Academic Press, 2017; 11-25.
11. Jurczenko E. *Factor investing: From traditional to alternative risk premia*. ISTE Press — Elsevier, 2017; 102-106.
12. Tabellini G. Culture and institutions: economic development in the regions of Europe. *Journal of the European Economic Association*. 2010; 8(4):677-716. DOI: 10.1111/j.1542-4774.2010.tb00537.x
13. Campante F.R., Do Q.-A. Isolated capital cities, accountability, and corruption: evidence from US states. *American Economic Review*. 2014; 104(8):2456-2481. DOI: 10.1257/aer.104.8.2456
14. Drazen A., Eslava M. Electoral manipulation via voter-friendly spending: Theory and evidence. *Journal of Development Economics*. 2010; 92(1):39-52. DOI: 10.1016/j.jdeveco.2009.01.001
15. 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(129):779-780. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.6.774-784 (rus.).
16. Afanasev A.A., Kasyanov V.F., Lukmanova I.G., Silka D.N. Synchronization of processes related to economic activity with stages of development of spatially-organized systems. *International Journal of Economics and Financial Issues*. 2015; 5(3S):121-124.
17. Kokoshin A.A., Bartenev B.I. Problems of security and development interdependence in strategic planning in the Russian Federation: from goal setting to forecasting. *Forecasting Problems*. 2015; 6(153):6-17. (rus.).
18. Sheina S.G., Fedorovskaya A.A. Comfortable life environment: environmental aspect of sustainable urban territory development. *Biospheric compatibility: human, region, technologies*. 2017; 3(19):36-43. (rus.).
19. Kolobova S.V. Socio-economic efficiency renovation of residential buildings in Moscow. *Biospheric compatibility: human, region, technologies*. 2018; 3(23):64-73. (rus.).
20. Kolobova S.V. Determining the market value of high-rise residential buildings based on evaluation of consumer properties. *E3S Web of Conferences*. 2018; 33(02034):1-9. DOI: 10.1051/e3sconf/20183302034
21. Kolobova S.V. Economic efficiency of the state program of renovation in Moscow. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 170(01082):1-9. DOI: 10.1051/matecconf/201817001082
22. Sborshchikov S.B., Lazareva N.V., Zharov Ya.V. Mathematical description of information interaction in investment and construction activities. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014; 5:170-175. (rus.).
23. Shinkareva G.N. Model engineering scheme of the organization of construction in the future the life cycle of objects. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2018; 13:9(120):1090-1105. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.9.1090-1105 (rus.).
24. Aziz D., Nawawi A.H., Ariff R.M. ICT Evolution in Facilities Management (FM): Building Information modeling (BIM) as the latest technology. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. 2016; 234:363-371. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.10.253
25. Barkalov S.A., Belousov V.E., Mailyan A.L. *Study of organizational management systems based on simulation models : monograph*. Saratov, University education, 2015; 8,13. URL: <http://www.iprbookshop.ru/29262.html>
26. Trofimova L.A., Trofimov V.V. Information modeling and engineering schemes of management as the basis of innovative development of construction industry. *Herald of Omsk University. Series Economics*. 2016; 3:77-82. (rus.).
27. Mishlanova M.Yu., Chernysheva E.M. Structural role of construction in the development of the Russian economy. *Bulletin of civil engineers*. 2019; 4(75):173-180. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-4-173-180 (rus.).
28. Sborshchikov S.B., Shinkareva G.N., Maslova L.A., Leybman D.M. Evaluation of effectiveness of managing construction project realization under the influence of random factors. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017; 12:11(110):1240-1247. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.11.1240-1247 (rus.).
29. Pletneva N.G., Yarkina K.V. Application of the quality assessment model of housing and communal services at formation of the strategy of business structures competitiveness. *Bulletin of civil engineers*. 2019; 4(75):181-186. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-4-181-186 (rus.).
30. Churbanov A.E., Shamara Yu.A. The impact of information modelling technology on the development of investment-construction process. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2018; 13:7(118):826-835. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.7.824-835 (rus.).
31. Ginsburg A.V. BIM-technologies in the process of life cycle of construction projects. *Information Resources of Russia*. 2016; 5(153):28-31. (rus.).
32. Morozenko A.A., Voronkov I.E. Modern approaches to assessing the reliability of enterprises involved in the implementation of investment and construction projects. *Scientific review*. 2017; 12:123-128. (rus.).
33. Anufriev D.P., Holodov A.Yu. Multiagent imitation model of a regional construction cluster as a heterarchical system. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017; 12:12(111):1415-1423. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.12.1415-1423 (rus.).

Received October 16, 2019.

Adopted in a revised form on November 2, 2019.

Approved for publication on January 31, 2020.

**BIO NOTES:** **Svetlana V. Kolobova** — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Social, Psychological and Legal Communications; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 9062-2255, Scopus: 57190853602, ResearcherID: AAA-4778-2019, ORCID: 0000-0003-2551-7404; KolobovaSV@mgsu.ru.

## Снос зданий и использование материалов, образующихся при реновации городских территорий

**С.А. Колодяжный, С.Н. Золотухин, А.А. Абраменко, Е.А. Артемова**

Воронежский государственный технический университет (ВГТУ); г. Воронеж, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Повторное использование строительных материалов, изделий и конструкций, образующихся после сноса зданий и сооружений, — актуальная задача, решение которой улучшит экологическую ситуацию. Цели исследования — определение причин реновации городских территорий; наиболее эффективных технологий сноса зданий с повторным использованием образующихся материалов, изделий и конструкций.

**Материалы и методы.** Использованы систематизация, структурный, сопоставительный анализ, теоретическое обобщение данных, полученных при детальном анализе литературных и статистических источников, натурных обследованиях объектов. При натурных обследованиях применены методы фотофиксации.

**Результаты.** Проанализированы причины и основные направления реновации городских территорий. Изучены российские и зарубежные технологии сноса зданий и сооружений. Показаны достоинства и недостатки различных видов сноса с точки зрения их экологичности и экономической эффективности. Выявлены и систематизированы существующие технологии сноса зданий, утилизации строительных отходов и повторного использования строительных материалов, образующихся при применении инновационных технологий поэлементного сноса.

**Выводы.** Опыт строительства малоэтажных зданий и устройства внутрипоселковых дорог показал, что технология поэлементной разборки зданий с помощью современного оборудования и техники с дальнейшим повторным использованием строительных материалов, изделий и конструкций является эффективной, экономичной и экологичной. Доказано, что повторное применение строительных материалов, изделий и конструкций приводит к значительному снижению стоимости возводимых сооружений. Результаты работы могут быть рассмотрены в малоэтажном строительстве во всем мире.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** утилизация строительных отходов, снос зданий и сооружений, умный снос, рециклинг, повторное использование строительных материалов, поэлементный снос, разборка

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Колодяжный С.А., Золотухин С.Н., Абраменко А.А., Артемова Е.А. Снос зданий и использование материалов, образующихся при реновации городских территорий // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 271–293. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.271-293

## Destruction of buildings and use of materials from renovated urban territories

**Sergey A. Kolodyazhny, Sergey N. Zolotukhin, Anatoliy A. Abramenko,  
Yekaterina A. Artemova**

Voronezh State Technical University (VSTU); Voronezh, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** Reuse of construction materials, products, and structures from demolished buildings and installations is an actual problem. The solution to it will improve the ecological situation. The study is aimed at the determination of the causes of urban area renovation and searches for the most efficient technologies of building demolition with the reuse of the generated materials, products, and structures.

**Materials and methods.** The study used systematization, structural analysis, comparative analysis, a theoretical generalization of the data obtained in a detailed analysis of literary and statistical sources, field surveys of objects. When field examining, photography methods were used.

**Results.** Existing technologies of the building demolition, construction waste recovery, and reuse of construction materials generated using innovative item-by-item demolition technologies were revealed and systematized. Causes and main trends of urban territory renovation were analyzed. The paper studied Russian and foreign technologies of the building and installation demolition. The pros and cons of various demolition types are shown in terms of their environmental friendliness and economic efficiency.

**Conclusions.** The experience of constructing low-rise buildings and intrasettlement roads showed that the item-by-item disassembly of buildings using modern equipment and machinery with the subsequent reuse of construction materials, products, and structures is efficient, economical, and environment-friendly. It is proven that the reuse of construction materials, products, and structures results in a significant reduction in the cost of erected installations. The results of the study can be applied in low-rise construction around the world.

**KEY WORDS:** construction waste recovery, demolition of buildings and installations, “smart” demolition, recycling, reuse of construction materials, item-by-item demolition, disassembly

**FOR CITATION:** Kolodyazhny S.A., Zolotukhin S.N., Abramenko A.A., Artemova Ye.A. Destruction of buildings and use of materials from renovated urban territories. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(2):271-293. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.271-293 (rus.).

## ВВЕДЕНИЕ

Возникновение и развитие городов как территорий исторически складывалось с появлением промышленных предприятий, которые обрастили застройками жилых домов, общественных зданий, научных, культурно-досуговых центров, медицинских учреждений. Дальнейшее укрупнение городов происходило при присоединении близлежащих поселений при постоянном становлении городского хозяйства, железнодорожного и автомобильного транспорта. Появление новых технологий и материалов в строительстве приводило к изменению внешнего облика зданий и сооружений, их внутреннего пространства. Политические процессы, войны, революции, промышленный прогресс, научно-техническая революция, также накладывали и накладывают отпечаток на внешний облик городов. Вышеназванные факторы обусловливали естественную необходимость реновации городских пространств.

Другие показатели, приводящие к реновации городских пространств:

- моральный и физический износ здания;
- различные сроки службы элементов городской среды;
- частичная или полная утрата архитектурных, исторически сложившихся архитектурных качеств городской среды;
- неэффективное использование городских территорий.

Реновация может быть локальной, точечной, иногда захватывать целые городские кварталы и города полностью. При реновации особо выделяются кварталы, отдельные здания, имеющие историческую ценность, которые охраняются государством, и изменение их внешнего облика невозможно [1–4]. Эти здания и кварталы подвергаются реставрации.

При реставрации выполняется комплекс мероприятий, направленный на предотвращение последующих разрушений и достижение оптимальных условий продолжительного сохранения памятников материальной культуры, обеспечение возможности в дальнейшем открыть его новые, неизвестные ранее свойства [5–7].

Новым направлением бережного отношения к истории и культуре строительства, при котором не происходит снос зданий, доказавшим свою жизнеспособность, стала джентрификация [8–9]. Термин «джентрификация» был введен в 1964 г. Рут Гласс в работе «Лондон: Аспекты изменения» («London: Aspects of Change») для описания вытеснения рабочего класса из отдельных районов Лондона средним классом. Сходный процесс происходил в различных городах США во второй половине XX в., в частности, в отдельных районах городов залива Сан-Франциско, Бостоне, Чикаго, Сиэтле, Портленде, Атланте, Вашингтоне, Денвере<sup>1, 2</sup>. Классическими примерами успешной джентрификации считаются квартал Марэ в Париже, Ноттинг-Хилл в Лондоне, Флорентин в Тель-Авиве, Морария в Лиссабоне [10]. Успешный образец джентрификации промышленных зданий — первый в Африке музей современного искусства Zeitz Museum, открывшийся в 2017 г. в Кейптауне на месте зернохранилища; торгово-офисный хаб, образованный на месте обувной фабрики, основанной в 1886 г. в Вилья Креспо в Буэнос-Айресе. Сегодня Вилья Креспо — уютный район в центре с элитным жильем, чистыми безопасными улицами и множеством заведений и магазинов на любой вкус.

Примером джентрификации, вызванной природной катастрофой (землетрясением магнитудой 8,1 баллов по шкале Рихтера), является Ла Рома в Мексике, где было сосредоточено много промышленных предприятий в 1985 г. Следы той катастрофы можно увидеть на улицах Ромы и по сей день. Сегодня здесь работают кафе, рестораны, галереи, театры, бутики и различные ремесленные мастерские<sup>2</sup>.

Иллюстрациями джентрификации и перепрофилирования в г. Москве служат ул. Остоженка, территория кондитерской фабрики «Красный Ок-

<sup>1</sup> Не только Нью-Йорк: 5 примеров джентрификации со всего света. URL: <http://www.vokrugsveta.ru/article/302900/>

<sup>2</sup> Санация панельного жилого фонда как альтернатива строительству новых домов. URL: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/749>

тябрь», деловые кварталы «Красная Роза», «Ново-спасский Двор» и Центр современного искусства «Винзавод»<sup>2</sup>.

Реновация территорий, застроенных панельными домами по массовым проектам в послевоенное время, связана с тем, что в 90-х гг. эти здания потеряли свою внешнюю привлекательность и не удовлетворяли современным требованиям норм проживания. В настоящее время на этих территориях определились два основных направления реновации — это снос зданий либо их санация<sup>3</sup>.

Основным критерием для принятия решений о последующей судьбе таких зданий был выбран уровень физического износа их несущих конструкций. Соответственно, при значении данного показателя более 60 % принималось решение о сносе здания с возможным строительством на освободившемся месте новой постройки. Если данный показатель был меньше 60 %, то принималось решение о санации здания путем: надстроек дополнительных этажей, в том числе мансардных; расширения площади квартир на основе их перепланировки; создания новых мест общего пользования; утепления фасадов домов; модернизации системы теплоснабжения; установки стеклопакетов; внедрения систем энергосбережения и технологий централизованного учета коммунальных ресурсов.

В Чехии микрорайоны из панелаков (так здесь называют блочные дома) есть в каждом городе. Во времена строительного бума в 70–80-е гг. большинство новостроек в Чехословакии были возведены этим быстрым и дешевым способом. А в 90-е государство передало их в руки жилищных кооперативов. Местным властям удалось аккумулировать деньги региональных бюджетов, Евросоюза и владельцев квартир в данных домах, за счет которых и началась масштабная реконструкция жилого фонда. В рамках реконструкции изменялись планировки, осуществлялся капитальный ремонт, заменились окна, устанавливались современные лифты и т.д. В результате проведенных работ старых пятиэтажек в их классическом виде в стране почти не осталось. Когда-то унылые районы окрасились в яркие цвета и стали намного привлекательнее для покупателей и уютнее для жителей. В то же время по окончании модернизации вырос не только спрос на это жилье, но и его цены<sup>4</sup>. В Польской Народной Республике в панельных домах в настоящее время проживает каждый третий поляк, поэтому в настоящее время идет облагораживание спальных районов:

<sup>3</sup> Снос здания. URL: <https://zem-advokat.ru/practice/item/snoss-zdaniya/>

<sup>4</sup> Зарубежные «хрущевки»: что происходит с панельными домами в Восточной Европе. URL: [https://www.m24.ru/articles/stroitelstvo/07112014/59415?utm\\_source=CopyBuf](https://www.m24.ru/articles/stroitelstvo/07112014/59415?utm_source=CopyBuf)

нов: многоэтажки утеплили, прежде всего крыши и фасады.

В Восточной Германии около 2,1 млн квартир панельной застройки в 90-х гг. были либо полностью (60 %), либо частично (25 %) санированы. И только незначительная часть жилья осталась не санирована. Определенные дома подлежали сносу. Причем решение о проведении сноса, как правило, было обусловлено структурными изменениями в восточногерманских регионах — демографическими и экономическими — и не имело никаких технических оснований. На рынке санкционное панельное жилье принимается жильцами с большим удовольствием. Притом повышение рыночной стоимости и имиджа квартир может происходить благодаря мероприятиям по улучшению придомовой территории — созданием скверов, игральных площадок, стоянок для автомашин<sup>4</sup>.

Исключительной мерой, связанной с градостроительными и другими объективными обстоятельствами (высокий физический и моральный износ, аварийное состояние и т.д.), считается снос зданий<sup>3</sup>. Снос зданий имеет четко выраженную стратегическую направленность. Это обусловлено тем, что демонтаж сооружений представляет собой первое звено в цепочке строительных работ на определенном участке. Он включает в себя целый спектр работ. Это, среди прочего: разборка инженерных коммуникаций, оконных и дверных проемов, снос кровли, демонтаж металлических и железобетонных конструкций перекрытий, снос перегородок и стен, демонтаж фундамента.

Причины сноса зданий в различных странах мира:

- в Америке время эксплуатации жилья предопределется целым рядом сводов и правил, существенно меняющихся от штата к штату. Неким унифицированным сроком использования домов без капитального ремонта считается 30 лет;

- в Германии сносятся либо ветхие дома, в которых конструкции не отвечают требованиям безопасности, либо жилой фонд, который пустует. К примеру, в Восточной Германии около 30 % квартир простаивает, потому что люди стараются жить там, где есть работа;

- в Китае дома сносят не только быстро, но и часто [11]. Жилищная политика здесь нацелена не на проведение капитальных ремонтов жилых домов, а на их снос и строительство новых. Согласно расчетам китайских специалистов, дешевле построить новый современный жилой многофункциональный комплекс, чем ремонтировать физически и морально устаревшие строения [11];

- в Великобритании, чтобы дом попал под снос, ему совсем не обязательно быть ветхим. Достаточно

не соответствовать эстетическим вкусам горожан. Городские власти могут прийти к выводу, что здание портит местный пейзаж. Так, в Глазго стерли с лица земли сразу шесть высотных домов в 32 этажа.

В Российской Федерации для сноса здания могут существовать различные причины:

- аварийное состояние — повреждения и деформации несущих конструкций, которые приводят к исчерпанию их несущей способности;
- физический износ здания — утрата несущими конструкциями здания первоначальных технико-эксплуатационных качеств (прочности, устойчивости, надежности и др.) в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека;
- недопустимое состояние — ситуация, при которой существует опасность пребывания людей, в связи со снижением несущей способности здания [12–15];
- моральный износ здания — отклонение основных эксплуатационных показателей от современного уровня технических требований эксплуатации зданий и сооружений [16, 17];
- при самовольной постройке здания (ч. 5 ст. 55.30 Градостроительного кодекса РФ)<sup>5</sup>.

Цель исследования — проведение сравнительного анализа современных методов сноса зданий, утилизации и повторного применения образующихся материалов, с выявлением наиболее экономически целесообразных технологий сноса.

<sup>5</sup> Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ (ред. 2019 г.).

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Данная работа является одним из итогов проводимых авторами исследований в области повторного использования строительных материалов, изделий и конструкций, образующихся при сносе зданий и сооружений. Изучены технологии сноса зданий и сооружений, малоэтажного строительства и устройства внутрипоселковых дорог, площадок. Проведен комплексный анализ отечественного и зарубежного опыта в области сноса зданий, утилизации строительных отходов. Изучены современные технологии сноса и повторного использования строительных материалов, изделий и конструкций, образующихся при этом. Выполнен сравнительный анализ изученного материала. Осуществлена систематизация и структурирование полученных результатов анализа с выявлением наиболее экономичных и экологичных способов сноса и дальнейшего использования строительных материалов, изделий и конструкций.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В настоящее время в мире существуют различные методы сноса зданий и сооружений. Далее рассмотрены наиболее известные методы массового сноса.

### **Взрывной метод**

Этот метод разрушения зданий применяется при массовом сносе кварталов застройки или отдельных зданий при реконструкции городской застройки (рис. 1).



**Рис. 1. Снос зданий методом взрыва**

**Fig. 1. Demolition of buildings by the explosion**

Чаще этот метод используется при сносе многоэтажных зданий в Америке, Китае, Великобритании, Германии<sup>3</sup> [11, 18–22]. Подготовка к взрыву занимает много времени. Из здания извлекаются провода, двери или трубы. Должны быть обязательно удалены стекла. Несущие колонны бурят, в отверстия помещается взрывчатка. Подрывники пытаются использовать настолько мало взрывчатки, насколько это возможно, взрывчатые вещества размещают не на всех этажах [20, 21].

Основной принцип взрывного метода состоит в создании динамических нагрузок, обеспечивающих разрушение несущих конструкций нижнего и вышележащих этажей, в результате чего достигаются потеря устойчивости здания и его обрушение.

Снос здания взрывом редко применяется на территории России, поскольку законодательством наложены серьезные ограничения на применение взрывчатых веществ [18, 19].

Опыт разрушения жилых домов показал, что в условиях плотной застройки взрывной метод имеет ряд недостатков, к которым следует отнести:

- негативное влияние динамических нагрузок на соседние здания;
- высокую запыленность прилегающих территорий и строений в результате аэродинамического эффекта оседания продуктов разрушения;
- неоднородное измельчение армоконструкций, что в последующем требует больших трудозатрат

на ликвидацию связей между продуктами разрушения;

- затрудняется процесс погрузки и транспортирования разрушенных элементов вследствие различных габаритов, наличия арматуры, трубопроводов, разнородных материалов, поэтому эффективность перевозки не превышает 30 % от грузоподъемности автотранспортных средств;

- появляются экологические проблемы утилизации материалов разрушения, так как при таком методе сноса образуются огромные объемы строительного мусора, под которые необходимо выделять внушительные площади земли [18–22].

### Механизированный способ

При сносе 1–9-этажных зданий наиболее распространенным в настоящее время является использование специальной техники. До середины 1990-х гг. применялся метод ударного разрушения конструкций шар- или клин-молотом, подвешиваемым на тросах к стреле самоходного крана или экскаватора.

В настоящее время появилась новая техника, которая разрушает здания и сооружения при помощи экскаваторов на гусеничном ходу. Экскаваторы оснащены специализированным гидравлическим инструментом — гидроножницы, гидромолот, грейферный захват, мультипроцессор и гидроклин для разрушения элементов из бетона (рис. 2).



**Рис. 2.** Применение гусеничной техники с использованием гидромолота при механизированном сносе здания

**Fig. 2.** Usage of the tracked vehicle-based hydraulic hammer in mechanized building demolition

Механизированный способ разрушения — весьма производительный и позволяет снести любое здание, не повреждая окружающие строения и территорию, применяя технику, которая наиболее эффективно может решить задачи по сносу. Главный минус данного метода — образование огромных объемов строительных отходов, которые сложно использовать повторно в строительных конструкциях или переработать методом рециклинга, ввиду высокой трудоемкости по сортировке. Поэтому строительные отходы должны вывозиться на мусорные полигоны. Учитывая мировые тенденции по рациональному использованию строительных отходов, можно сказать, что механизированный способ сноса зданий и сооружений является устаревшим [20, 21].

### **Специальные способы обрушения**

К специальным способам обрушения объекта и его конструкций относятся: гидровзрывной, термический, электрогидравлический и способ гидрораскалывания.

*Гидровзрывной способ* используется тогда, когда необходимо разрушить конструкции коробчатой формы, резервуаров и т.п., а также каменных, бетонных и железобетонных конструкций<sup>6</sup>. Технология данного способа заключается в заполнении свободного пространства шпурков водой или глинистым раствором. К минусам относится необходимость дорогостоящего специального оборудования и высокая стоимость выполнения работ. Широкого применения не findet.

*Термический способ* эффективен при разрушении монолитных бетонных и железобетонных конструкций<sup>7</sup>. Термическая резка конструкций производится с использованием мощного источника тепла в форме высокотемпературного газового потока или электрической дуги. Принцип действия этого способа заключается в плавлении бетона продуктами сгорания железа в струе кислорода, поступающего в сгораемую трубу в количестве, достаточном для горения и выноса шлака из прорезаемой конструкции. Метод является экологически небезопасным и требует высококвалифицированных специалистов и дорогостоящего оборудования. Поэтому в настоящее время он не нашел широкого применения.

*Электрогидравлический способ* применяется для разрушения монолитных бетонных и каменных массивов, бутобетонной и каменной кладки<sup>7</sup>. Применение электрогидравлического способа характеризуется отсутствием взрывной волны и разлета осколков и является безопасным для работающих вблизи людей и установленного оборудования. Не-

достатком служит то, что он может быть использован только для разрушения и дробления твердых тел небольших габаритов, так как разрушаемое твердое тело необходимо поместить в ванну, заполненную жидкостью. Широкого применения не findet.

*Способ гидрораскалывания* используется для разрушения монолитных бетонных и кирпичных конструкций в стесненных условиях<sup>7</sup>. Он основан на применении гидравлических раскалывателей, представляющих клиновые устройства с гидроцилиндрами. Для разрушения конструкции в ней пробуривается скважина, в которую вставляется клиновое устройство и с помощью гидроцилиндра приводится в действие. В результате развиваемое гидроцилиндром усилие увеличивается в несколько раз. Разрушение конструкции происходит бесшумно и без разлета кусков и осколков. Но экономически целесообразно его использовать только в стесненных условиях.

### **Позлементная разборка зданий «Тесогер» с опусканием здания гидравлическими домкратами**

В Японии применяется способ позлементной разборки зданий и сооружений, условно названный «срезать и опустить» (рис. 3) [22].

Суть технологии заключается в предварительном устраниении всех элементов интерьера и ненесущих конструкций, и в дальнейшем срезании несущих конструкций первых этажей здания, которые заменяются особыми гидравлическими домкратами, выдерживающими нагрузку до 1200 т. Затем сносятся все остальные элементы конструкции этажа, а образовавшийся мусор тут же сортируется и вывозится с площадки, после чего уровень домкратов понижается для перехода к демонтажу следующего этажа.

При спуске материалов вниз на внутреннем лифте генерируется энергия, которая затем используется для питания техники и инструментов.

При этой технологии крыша зданий не сносится, что защищает рабочих от непогоды и снижает шум выполняемых работ на 17 дБ [22]. Вред, наносимый окружающей среде, при демонтаже зданий по технологии «Тесогер» отсутствует. Технология также позволяет повторно использовать материалы, образующиеся при сносе здания.

К недостаткам данного метода следует отнести необходимость применения сложного, дорогостоящего оборудования, высокую трудоемкость выполняемых работ.

### **Рециклинговые технологии сноса зданий**

#### *1. Технология «умного сноса».*

При проведении реновации в Москве в настоящее время используют технологию «умного

<sup>6</sup> Инновационный снос зданий по-японски. URL: <https://www.oknamedia.ru/novosti/innovatsionnyy-snos-zdaniyu-po-yaponski-45477>



**Рис. 3.** Снос здания японским методом «срезать и опустить»

**Fig. 3.** Demolition of the building by the Japanese “cut and drop” method

сноса». «Умный снос» — это работы, проходящие в несколько этапов [23, 24]. На первом этапе внутри здания демонтируют отдельные элементы с разделением отходов по группам (например, фаянс и керамика, стекло, столярные изделия). Затем мусор вывозят на специализированные полигоны для переработки с целью повторного использования.

На втором этапе оставшийся нетронутым каркас здания демонтируют при помощи экскаватора с тем, чтобы строительный мусор скапливался внутри здания, а не снаружи. Остатки конструкций вывозят на полигоны, где их измельчают и перерабатывают. Остатки армирования (металлолом) отделяются и направляются на переплавку.

Основной объем строительного мусора после демонтажа здания составляет железобетон, бетон и кирпич. Отходы сортируются спецтехникой. Крупногабаритные глыбы крошатся, а затем перерабатываются в дробилках, устанавливаемых прямо на площадке. Продуктом рециклинга является щебень, который широко используется для отсыпки технологических дорог, заполнения пазух котлованов, устройства дренажа на болотистых территориях [25–31].

Среди преимуществ рециклинга «умного сноса»:

- снижение объемов отходов, подлежащих захоронению;
- сбережение природных сырьевых ресурсов;
- уменьшение потребности в транспортировке материалов от удаленных сырьевых источников, а также в транспортировке строительных отходов на полигоны захоронения;
- снижение нагрузки на природную среду в результате уменьшения добычи исходных материалов и захоронения строительных отходов.

Причина, мешающая осуществлению рециклинга, — отсутствие непрерывности процесса накопления перерабатываемых строительных отходов, что частично затрудняет рациональное использование промышленных установок переработки отходов [32–39]. Недостатком этого способа служит дороговизна получаемых каменных материалов, их низкая однородность и прочность. Последующее их использование требует специального обоснования. При этом основным потребителем такого материала становится главным образом дорожная отрасль, где данные материалы применяются для устройства насыпей, отсыпки откосов. К недостаткам также можно отнести затруднение процесса погрузки, низкую эффективность перевозок, так как сложно обеспечить полноту загрузки поломанных железобетонных конструкций, что повышает себестоимость производства работ.

#### 2. Поэлементная разборка зданий с повторным использованием материалов, изделий и конструкций.

Наиболее интересным при проведении литературного обзора является пример сноса, проведенный в Канаде компанией «Краун корпорэйшн» здания «Вест-Гейт Аннекс» старого тюремного комплекса «Оакалла», где главная техническая задача заключалась в направлении строительных материалов, образующихся при технологии поэлементного демонтажа, не на свалки ТБО, а на повторное использование и переработку<sup>7</sup>. После получения здания подрядчики разработали проект, при котором схема «утилизация — повторное использование — переработка» оказалась на 24 % дешевле, чем обычный снос. Демонтаж здания был произведен

<sup>7</sup> СТО НОСТРОЙ 2.33.53-2011. Организация строительного производства. Снос (демонтаж) зданий и сооружений (с Поправкой).

в 1991 г. Три четверти бетонных стеновых блоков были использованы юношеским клубом повторно для строительства спортивных сооружений, забракованные бетонные и железобетонные конструкции дробились для получения каменного заполнителя. Пиломатериалы, металл, разнообразное оборудование, стена сухой кладки (отправлена на гипсовый завод на переработку), окна, решетки и другие изделия были на 97 % утилизированы и перепроданы. Фундамент и опоры непригодные для повторного использования по прямому назначению из-за большого количества дефектов, полученных при сносе, отправлялись на участки засыпки дороги в качестве нижнего слоя автомобильных дорог.

В итоге было захоронено только 5 %, а остальные 95 % использованы повторно либо переработаны. Полтора месяца дополнительного труда для команды, занимавшейся сносом, компенсировались продажей материалов<sup>8</sup>.

### **Поэлементная разборка зданий с применением современной техники**

Исторически первым способом разборки зданий, сооружений и отдельных конструкций является ручной способ. Изначально он применялся при сносе деревянных, каменных зданий и сооружений. При этом способе разборки использовались ломы, клинья, кувалды, кирки, скарпели, топоры. Такой вариант актуален при близком расположении соседних конструкций, которые затрудняют использование спецтехники и исключают взрывные работы. Ручной способ имеет широкое применение при реставрации исторических зданий и сооружений, при необходимости проведения особо точных работ в частичной или полной разборке объекта. Несомненным достоинством ручного способа является возможность повторного использования, образующихся при этом материалов. Его недостаток — высокая трудоемкость процесса.

Появление современных ручных инструментов для алмазной резки, работы с помощью отбойных молотов, различных резаков, сверл, расширило области применения ручного способа при разборке сборных монолитных железобетонных и металлических конструкций, повысило его производительность, снизило стоимость выполняемых работ, повысило качество получаемых после разборки материалов. Появление кранового оборудования (башенные, самоходные стреловые и крышевые краны) в комплекте с технологическим оборудованием, средствами малой механизации и механизированным ручным инструментом позволило и в России разрабатывать технологии поэлементной разборки как крупнопанельных, так и каркасных зданий.

Технология поэлементной разборки зданий с применением современной техники объединяет элементы механизированного и ручного способов с использованием средств малой механизации и включает в себя следующие этапы:

- осмотр здания специалистами по безотходным технологиям сноса;
- разработка проекта поэлементной разборки специализированной организацией;
- отключение и вывоз оборудования;
- отключение и демонтаж инженерных сетей;
- разборка деревянных конструкций — крыши, полов, перекрытий;
- разборка проемов окон, дверей;
- демонтаж несущих конструкций;
- демонтаж подвальных помещений;
- разрушение фундамента и удаление его остатков;
- инженерный и экологический надзор за сносом и сортировкой отходов по группам: стекло, дерево, пластик, металл, фаянс, кирпич, ж/б конструкции;
- определение физико-механических и экологических характеристик демонтируемых элементов;
- проектирование зданий, дорог, площадок и т.п. с применением материалов, изделий и конструкций, образующихся по данной технологии;
- инженерный надзор за проведением строительных работ.

Данная технология нашла применение при разборке как промышленных, так и гражданских зданий в г. Воронеж и повторном использовании при строительстве десятков малоэтажных жилых зданий, гостиниц, торговых центров, гаражей, физкультурного центра и внутрипоселковых дорог, площадок, дренажей, примыкающих к данным объектам [24, 40–46].

Достоинство этой технологии — огромный экологический эффект, так как 1 м<sup>3</sup> железобетонных конструкций требует от 5000 до 6000 кг условного топлива, а при сжигании 1 т условного топлива расходуется 2,3 т кислорода и выбрасывается 2,76 т углекислого газа, и при повторном использовании огромных объемов железобетонных конструкций теплового загрязнения атмосферы земли не происходит [47]. Кроме того, строительные отходы не попадают на свалки ТБО; зафиксировано резкое снижение стоимости построенных объектов; происходит снижение логистических затрат, поскольку обеспечивается полная загрузка автотранспорта [40–46].

К недостаткам можно отнести применение ручного труда и увеличение продолжительности работ по сносу здания.



**Рис. 4.** Пример поэлементной разборки железобетонного каркаса с применением отбойных молотков  
**Fig. 4.** Example of item-by-item disassembly of reinforced concrete structure using jackhammers

Рассмотрим некоторые аспекты наиболее сложных при разборке узлов сопряжений сборно-монолитных и монолитных каркасов зданий.

В России достаточно традиционной технологией поэлементной разборки здания и сооружения является разрушение узлов соединения железобетонных конструкций при помощи отбойных молотков, которые отбивают бетон и оголяют арматуру. С помощью газорезки либо болгарок арматура отрезается. Такой метод позволяет бережно отделить железобетонную конструкцию и перенести ее при помощи крановой техники к месту складирования. Минусом данной технологии служит то, что не всегда удается сохранить конструкцию в том виде и техническом

состоянии в каком она была до демонтажа, что не позволяет ее повторно использовать по своему прямому назначению. Однако авторам статьи удалось спроектировать и повторно использовать подломанные железобетонные элементы каркаса — ригели, плиты, балки, фермы в конструкциях сборно-монолитных фундаментов при малоэтажном строительстве (рис. 4) [23, 24, 48].

Современная технология поэлементной разборки железобетонных конструкций — алмазная резка (рис. 5, 6).

Это сложный технологический процесс, который выполняется специализированным инструментом: шоврезчиками, бензорезами, штроборезами



**Рис. 5.** Применение алмазной резки при поэлементной разборке зданий и сооружений  
**Fig. 5.** The use of diamond cutting in item-by-item disassembly of buildings and installations



Рис. 6. Конструкции, образовавшиеся при алмазной резке

Fig. 6. Structures obtained from diamond cutting

и дисковыми пилами с применением режущих дисков с алмазным напылением.

Использование алмазного инструмента позволяет:

- быстро резать бетонные, железобетонные и кирпичные конструкции любой прочности и плотности с минимальной динамической нагрузкой на конструкции;
- получать очень ровную поверхность отверстия и контролировать его угол;
- выполнять работы с минимальным шумом, вибрацией и пылью;
- получать конструкции, пригодные для повторного использования с минимальными разрушениями узлов сопряжений.

#### Утилизация и повторное использование материалов, образующихся при сносе

Каждая страна, проводящая реновацию, стремится наиболее эффективно стимулировать процесс сноса старых зданий и проводит ряд мер для этого: применение целевых программ, обеспечивающих инвестирование проектов за счет предоставления субсидий, а также предоставление льгот физическим лицам по кредитованию и налоговым сборам [49–57].

Но при проведении реновации поднимается один важный и острый вопрос — утилизация строительных отходов [58–62]. Так, исследования, проводимые в Европе, доказывают, что строительный мусор составляет почти треть всех отходов, образующихся в большинстве развитых стран [49, 53–56, 58]. По данным Европейской ассоциации по сносу зданий каждый год во всем мире образуется более 2,5 млрд т строительного мусора, поэтому рациональное использование строительных отходов становится одним из главных направлений по защите окружающей среды.

В России утилизация строительных отходов — более острые проблема [23, 24, 40–46]. По данным главы наблюдательного совета Фонда содействия реформированию ЖКХ С.В. Степашина в России на 1 января 2017 г. аварийный фонд составлял 11,9 млн м<sup>2</sup>. В рамках нацпроекта в 2019–2024 гг. планируется направить из федерального бюджета 431,9 млрд руб. на снос и строительство нового жилья [63]. Такие объемы сноса уже привели к тому, что, согласно статистике, объемы свалок ТБО заполнены на 10–70 % строительным мусором.

В Европе считается, что складирование строительного мусора нецелесообразно, так как оно занимает огромные площади. Совместное захоронение экологически чистого строительного мусора, обладающего большим объемом, с действительно грязными экологическими отходами — экологически небезопасно и приводит к резкому увеличению объема грязных отходов на свалках ТБО.

Рамочная директива Евросоюза об отходах гласит, что главный способ снижения строительных отходов — их переработка и дальнейшее использование. Так, в Европе к 2020 г. планируется повторно использовать не менее 70 % того, что в настоящее время является строительным мусором. Механизмы переработки и повторного использования строительных материалов начали разрабатываться в мире около 20 лет назад. На сегодняшний день можно говорить о том, что появилась целая индустрия рециклинга. В развитых странах ведется политика по ужесточению законов к захоронениям и образованием несанкционированных свалок, а также создаются условия, при которых вывозить отходы на полигоны невыгодно. Поэтому переработка становится не просто экологически выгодной, но и экономически эффективной [64–69].

Проведенный анализ технологий сноса зданий и сооружений показывает взаимозависимость между выбранными технологиями сноса и объемами образующихся отходов: самый экологически небезопасный метод — вывоз строительного мусора на полигоны [70–77]. Данный метод чаще всего используется при механизированном и взрывном сносе зданий и сооружений, поэтому от него сейчас большинство развитых стран мира отказываются (рис. 7) [78–83].

«Умный снос» зданий приводит к образованию неоднородных низкомарочных каменных материалов, не имеющих гарантированной прочности [84–87]. В то же время многочисленные обследования несущей способности строительных материалов, изделий и конструкций, проводимые кафедрами строительных конструкций различных вузов страны, установили, что образующиеся при поэлементном сносе зданий материалы имеют прочность достаточную для строительства малоэтажных зданий. Так, несущая способность красного кирпича со сроком службы более 100 лет колебалась в пределах от марки M50 до марки M100, прочность силикатного кирпича со сроком службы 40 и более лет соответствует маркам M50–M125, прочность бетона колебалась от класса B20 до класса B90, т.е. превышала проектную прочность в 1,5–3 раза, прочность арматуры в ж/б конструкциях со сроком службы 40 и более

лет на 5–10 % превышала исходную. Согласно ВСН 39-83(р) «Инструкция по повторному использованию изделий, оборудования и материалов в жилищно-коммунальном хозяйстве», материалы, изделия и конструкции, имеющие такие прочностные показатели, могут повторно использоваться по своему прямому назначению<sup>8, 9, 10</sup>. Каменные и деревянные материалы, полученные при поэлементном сносе, после их обследования применяются без ограничений.

Сборные железобетонные конструкции и изделия с шарнирным креплением после обследования и подтверждения работоспособности могут использоваться в несущих конструкциях здания по своему прямому назначению, поэтому авторы статьи использовали полученные данные при проектировании и строительстве малоэтажных зданий и сооружений.

Монолитные и сборно-монолитные ж/б конструкции, которые при поэлементной разборке были

<sup>8</sup> Directive 2008/98/EC of the European parliament and of the council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (text with EEA relevance).

<sup>9</sup> ВСН 39-83(р)/Госгражданстрой. Инструкция по повторному использованию изделий, оборудования и материалов в жилищно-коммунальном хозяйстве.

<sup>10</sup> СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003.



Рис. 7. Вывоз строительного мусора на свалки ТБО

Fig. 7. Construction waste removal to solid waste dumps

подломаны возможно использовать в качестве конструктивных элементов фундаментов [88, 89].

Результаты исследования были применены при возведении малоэтажных зданий в г. Воронеже и пригородной зоне. Специалисты ВГТУ с 1987 г. осуществляют строительство малоэтажных зданий с повторным использованием строительных материалов, изделий и конструкций. А также используют их при устройстве поселковых дорог и укреплении грунтов оснований [40–46]. Возможность продления срока службы стройматериалов и конструкций обосновывается в работе [44]. Проведенный исторический анализ доказывает, что поэлементная разборка зданий с последующим повторным применением строительных материалов применялась в Воронеже уже в послевоенный период при восстановлении города, разрушенного во время войны, и показала высокую надежность повторно используемых строительных материалов, изделий и конструкций. А в настоящее время, когда осуществляется массовый снос зданий по всей стране в рамках реализации программ сноса ветхого и аварийного жилья, сноса промышленных зданий повторное применение строительных материалов позволит решить задачи нацпроектов «Доступное и комфортное жилье — гражданам России», «Безопасные и качественные автомобильные дороги», «Экология»<sup>10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17</sup>. В Воронеже десятки строительных организаций и бригад совместно со специалистами ВГТУ освоили технологию поэлементного сноса зданий, что дает возможность прекратить вывоз строительного мусора на свалки ТБО [40–46]. К факторам, сдерживающим широ-

<sup>11</sup> Национальные проекты: целевые показатели и основные результаты URL: <http://static.government.ru/media/files/p7nn2CS0pVhvQ98OOwAt2dzCIAetQih.pdf>

<sup>12</sup> Национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги». URL: <http://rosavtodor.ru/about/upravlenie-fda/nacionalnyj-proekt-bezopasnye-i-kachestvennye-avtomobilnye-dorogi>

<sup>13</sup> ВСН 39-83(Р). Инструкция по повторному использованию изделий, оборудования и материалов в жилищно-коммунальном хозяйстве.

<sup>14</sup> Национальные проекты. Национальный проект «Доступное и комфортное жилье — гражданам России». URL: <http://static.government.ru/media/files/p7nn2CS0pVhvQ98OOwAt2dzCIAetQih.pdf>.

<sup>15</sup> Министерство транспорта Российской Федерации. Национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги». URL: <http://rosavtodor.ru/about/upravlenie-fda/nacionalnyj-proekt-bezopasnye-i-kachestvennye-avtomobilnye-dorogi>.

<sup>16</sup> Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Паспорт национального проекта «Экология». URL: [http://mnr.gov.ru/activity/directions/natsionalnyy\\_proekt\\_ekologiya/](http://mnr.gov.ru/activity/directions/natsionalnyy_proekt_ekologiya/).

<sup>17</sup> О реновации жилищного фонда в Российской Федерации : Законопроект № 689840-7 от 10.04.2019.

кое применение технологии поэлементного сноса с повторным применением строительных материалов, изделий и конструкций, необходимо отнести: нехватку как архитекторов, обладающих опытом проектирования подобных зданий, так и линейных работников, способных строить по данной технологии; недостаточную информированность потенциальных заказчиков. Однако объемы строительства по данной технологии постоянно растут [40–46].

Поэлементная разборка зданий с использованием современной техники позволила повторно использовать полученные строительные конструкции и материалы при строительстве малоэтажных зданий и устройстве оснований внутрипоселковых дорог, значительно снизив их стоимость (рис. 8, 9) [40–46, 90].



Рис. 8. Сортированные железобетонные б/у плиты перекрытия

Fig. 8. Sorted used reinforced concrete floor slabs



Рис. 9. Испытания бывших в употреблении железобетонных плит на прочность неразрушающим методом

Fig. 9. Nondestructive strength testing of used reinforced concrete slabs

В настоящее время в Воронеже и области спроектированы, построены и продолжают строиться десятки малоэтажных зданий и сооружений [40–46]. Стоимость 1 м<sup>2</sup> общей площади колебалась от 6 до 12 тыс. за м<sup>2</sup>, что в 2–3 раза ниже рыночных цен в г. Воронеже [48].

На рис. 10, 11 показан процесс возведения конструкции фундамента из ранее использованных ребристых железобетонных плит перекрытия.



**Рис. 10.** Устройство столбчатого фундамента из ранее использованных железобетонных ребристых плит  
**Fig. 10.** Constructing post foundation from used reinforced concrete ribbed slabs



**Рис. 11.** Конструкция столбчатого фундамента  
**Fig. 11.** Design of post foundation



**Рис. 12.** Дом, построенный с применением б/у материалов, изделий и конструкций  
**Fig. 12.** House built with used materials, products and structures

На рис. 12 изображен дом, построенный с применением б/у материалов, изделий и конструкций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основными причинами реновации городских территорий являются рост городов, неэффективное использование городских территорий; частичная или полная потеря архитектурных, исторически сложившихся архитектурных качеств городской среды; моральный и физический износ зданий, который приводит к необходимости санации и сноса зданий и сооружений.

Многие используемые в настоящее время технологии массового сноса зданий и сооружений со пряжены с запылением прилегающих территорий, имеют низкую эффективность при перевозке строительного мусора, образующегося при этом, и приводят к появлению экологических проблем, связанных с его утилизацией.

Технологии поэлементной разборки зданий и сооружений, используемые в различных странах, с повторным применением строительных материалов, изделий и конструкций в настоящее время наиболее экологически и экономически эффективны.

Проведенное исследование доказало, что появление современного оборудования, инструмента и техники позволяет отказаться от экологически небезопасных методов сноса зданий и сооружений.

Наиболее эффективным следует считать опыт строительства малоэтажных зданий и сооружений

в Канаде, Финляндии, России. Повторное использование строительных материалов, изделий и конструкций, образующихся при поэлементном сносе зданий, приводит к значительному снижению стоимости возводимых сооружений и дает значительный экологический эффект.

Необходимо привлечение большего числа научных-строителей для развития и совершенствования технологий поэлементного сноса зданий с повторным использованием строительных материалов, изделий и конструкций, и распространение полученного опыта при выполнении федеральных и муниципальных программ реновации, сноса ветхого и аварийного жилья, нацпроектов «Доступное и комфортное жилье — гражданам России», «Безопасные и качественные автомобильные дороги», «Экология».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бабенко Г.В., Лукин М.В. Анализ мировых тенденций и зарубежного опыта экономического обеспечения решения задач реновации зданий городских агломераций // Фундаментальные исследования. 2017. № 4–2. С. 314–319.
2. Дрожжин Р.А. Реновация городских территорий // Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России : тр. Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Новокузнецк, 18–20 октября 2016 г. Новокузнецк, 2016. С. 307–310.
3. Налетова А.С. Реновация городских территорий, застроенных в 1950–1960-х годах // Лучшая научная статья 2017: сб. ст. IX Международного науч.-практ. конкурса. 2017. С. 271–273.
4. Волчатова И.В., Стациенко Ю.Ю. Возможности вторичного использования строительных материалов в рамках программы реновации жилых домов // Перспективы развития горно-металлургической отрасли (Игошинские чтения — 2018) : мат. Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 29 ноября–01 декабря 2018 г. Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2018. С. 280–285.
5. Ставцев Е.А. Причины реновации промышленных территорий и значение этого процесса в формировании современного городского пространства // Безопасный и комфортный город : сб. науч. тр. по мат. Всеросс. науч.-практ. конф. Орел, 27 сентября 2018 г. Орел : Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2018. С. 62–64.
6. Мусеева А.А., Чугунов А.В. Повышение эффективности использования территории жилой застройки в городе Воронеже на основе реализации проектов реновации // Студент и наука. 2018. № 1. С. 42–48.
7. Коростин С.А. Стимулирование малоэтажного домостроения как способ реновации жилищной политики регионов России // Фундаментальные исследования. 2015. № 5–2. С. 415–418.
8. Зазуля В.С. Градостроительный потенциал «джентрификации» территорий «серого пояса» в современных условиях Санкт-Петербурга // Актуальные проблемы архитектуры, градостроительства и дизайна: теория, практика, образование : мат. Междунар. науч. конф. Волгоград, 23–29 сентября 2018 г. Волгоград : ВолгГТУ, 2018. С. 165–169.
9. Афанасьев К.С. Джентрификация и реиндустриализация в развитии городской территории // Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина. 2014. Т. 6. № 2. С. 48–60.
10. Арлярова П.А., Родионова Е.В. Джентрификация и трансформация современного городского пространства (на примере российских городов) // Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы (МНТ-2016) : мат. III Междунар. науч. конф. студентов и молодых ученых. Томск, 22–25 ноября 2016 г. Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2016. С. 13–16.
11. Huang B., Wang X., Kua H., Geng Y., Bleischwitz R., Ren J. Construction and demolition waste management in China through the 3R principle // Resources, Conservation and Recycling. 2018. Vol. 129. Pp. 36–44. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.029
12. Бжеников А.А., Нестерова В.А. Способы демонтажа зданий и сооружений // Дни студенческой науки : сб. докл. науч.-техн. конф. по итогам

- научно-исследовательских работ студентов института строительства и архитектуры. Москва, 12–16 марта 2018 г. М., 2018. С. 432–433.
13. Музакаев Х.Г., Эртуев А.Р., Ладария Б.В., Артениян Т.Р., Жарков Д.А. Анализ реконструкции и демонтажа жилых зданий // Экономика и предпринимательство. 2018. № 7 (96). С. 905–908.
  14. Исупов И.А. Анализ технологий демонтажа зданий взрывом и методом «cut and take down» // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2017. № 1. С. 307–312.
  15. Князев А.А., Краснощекова А.И., Тимошенко Е.А. Особенности демонтажа зданий // Техника и технологии: пути инновационного развития : сб. науч. тр. 7-й Междунар. науч.-практ. конф. Курск, 29–30 июня 2018 г. Курск, 2018. С. 139–141.
  16. Коноплева А.А., Петрова Т.А., Секрий М.А. Особенности демонтажа зданий и сооружений в условиях городской застройки // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования : мат. Национальной науч.-практ. конф. Астрахань, 9 февраля 2018 г. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. С. 68–74.
  17. Гельдыев М.Т., Аразов Б.М. Технологии сноса зданий // Молодежь и наука: шаг к успеху : сб. науч. ст. 3-й Всероссийской науч. конф. перспективных разработок молодых ученых. Курск, 21–22 марта 2019 г. Курск : Университетская книга, 2019. С. 27–30.
  18. Галаева Н.Л. Использование метода взрыва для сноса зданий и сооружений в условиях городской застройки // Перспективы науки. 2019. № 5 (116). С. 54–56.
  19. Великанов Н.Л., Наумов В.А., Тарасов Д.А. Использование ударного разрушения при сносе строительных конструкций // Известия КГТУ. 2011. № 20. С. 48–53.
  20. Kleemann F., Lederer J., Aschenbrenner P., Rechberger H., Fellner J. A method for determining buildings' material composition prior to demolition // Building Research and Information. 2016. Vol. 44. Issue 1. Pp. 51–62. DOI: 10.1080/09613218.2014.979029
  21. Mihai F.-C. Construction and demolition waste in Romania: The route from illegal dumping to building materials // Sustainability. 2019. Vol. 11. Issue 11. DOI: 10.3390/su11113179
  22. Добросоцких М.Г., Потехин И.А., Ким Т.С., Костина Д.П. Организация поэлементной разборки здания с повторным использованием строительных конструкций и материалов // Строительство и недвижимость. 2018. № 1–1 (2). С. 123–128.
  23. Фахратов М.А., Сулейманов Х.А., Болотин О.А. Особенности бетонирования и демонтажа зданий в рамках поэлементной системы // Инновации и инвестиции. 2018. № 4. С. 341–344.
  24. Jesus S., Maia C., Farinha C.B., de Brito J., Veiga R. Rendering mortars with incorporation of very fine aggregates from construction and demolition waste // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 229. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116844
  25. Jiménez J.R., Ayuso J., López M., Fernández J.M., De Brito J. Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 40. Pp. 679–690. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.11.036
  26. Solís-Guzmán J., Marrero M., Montes-Delgado M.V., Ramírez-de-Arellano A. A Spanish model for quantification and management of construction waste // Waste Management. 2009. Vol. 29. Issue 9. Pp. 2542–2548. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.05.009
  27. Grigoriadis K., Whittaker M., Soutsos M., Sha W., Napolano L., Klinge A. et al. Improving the recycling rate of the construction industry // Fifth International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies. 2019. Vol. 1. DOI: 10.18552/2019/IDSCMT5044
  28. Chen J., Su Y., Si H., Chen J. Managerial areas of construction and demolition waste: a scientometric review // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018. Vol. 15 (11). DOI: 10.3390/ijerph15112350
  29. Iacovidou E., Purnell P., Lim M.K. The use of smart technologies in enabling construction components reuse: A viable method or a problem creating solution? // Journal of Environmental Management. 2018. Vol. 216. Pp. 214–223. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.04.093
  30. Rose T.M., Manley K., Agdas D. A conceptual framework to investigate the adoption of on-site waste management innovation in Australian building projects // 2016 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). 2017. Pp. 1830–1837. DOI: 10.1109/PICMET.2016.7806745
  31. Guignot S., Touzé S., Von der Weid F., Ménard Y., Villeneuve J. Recycling Construction and Demolition Wastes as Building Materials: A Life Cycle Assessment // Journal of Industrial Ecology. 2015. Vol. 19. Issue 6. Pp. 1030–1043. DOI: 10.1111/jiec.12262
  32. Pittau F., Amato C., Cuffari S., Iannaccone G., Malighetti L.E. Environmental consequences of refurbishment vs. demolition and reconstruction: a comparative life cycle assessment of an Italian case study // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 296. DOI: 10.1088/1755-1315/296/1/012037
  33. Islam R., Nazifa T.H., Yuniarto A., Uddin A.S.M.S., Salimiati S., Shahid S. An empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling // Waste Management. 2019. Vol. 95. Pp. 10–21. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.05.049
  34. Letelier V., Henríquez-Jara B.I., Manosalva M., Moriconi G. Combined use of waste concrete and glass as a replacement for mortar raw materials // Waste Management. 2019. Vol. 94. Pp. 107–119. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.05.041

35. Pavlu T., Pesta J., Volf M., Lupísek A. Catalogue of Construction Products with Recycled Content from Construction and Demolition Waste // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 290. DOI: 10.1088/1755-1315/290/1/012025
36. Kianmehr M., Shourijeh P.T., Binesh S.M., Mohammadinia A., Arulrajah A. Utilization of recycled concrete aggregates for light-stabilization of clay soils // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 227. P. 11. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116792
37. Akhtar A., Sarmah A.K. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: a global perspective // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 186. Pp. 262–281. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.03.085
38. Cardoso R., Silva R.V., De Brito J., Dhir R. Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: a literature review // Waste Management. 2016. Vol. 49. Pp. 131–145. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.12.021
39. Золотухин С.Н. Возможности создания регионального кластера повторного использования строительных отходов // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2018. № 10. С. 209–212. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35191748>.
40. Золотухин С.Н., Насонова Т.В., Потемкин И.А. Рациональное строительство с повторным использованием строительных материалов, конструкций, изделий после сноса здания // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2018. № 10. С. 206–209.
41. Золотухин С.Н., Лобосок А.С. Повторное использование строительных материалов и отходов производства в малоэтажном строительстве // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета: мат. межрегиональной науч.-практ. конф. «Высокие технологии в экологии». 2011. № 1. С. 63–66.
42. Золотухин С.Н., Гойкалов А.Н., Куджику Т. Опыт строительства малоэтажных энергоэффективных зданий // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета: мат. межрегиональной науч.-практ. конф. «Высокие технологии в экологии». 2012. № 1. С. 169–172.
43. Шмелев Г.Д. Экспертный метод прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по их физическому износу // Строительство и реконструкция. 2014. № 3 (53). С. 31–39.
44. Золотухин С.Н., Золотухина М.С. Использование отходов строительных материалов в дизайне спортивно-оздоровительного комплекса // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии в экологии». 2011. № 1. С. 58–62.
45. Sheffield H. Sweden's recycling is so revolutionary, the country has run out of rubbish // Independent. 2016. URL: <https://www.independent.co.uk/environment/sweden-s-recycling-is-so-revolutionary-the-country-has-run-out-of-rubbish-a7462976.html>
46. Золотухин С. Рациональное строительство. URL: <https://www.youtube.com/channel/UCYGPk70g-KwN84pSlkQPR6dg>.
47. Kien T.T., Thanh L.T., Lu P.V. Recycling construction demolition waste in the world and in Vietnam // The International Conference on Sustainable Built Environment for Now and the Future, Hanoi. 2013. Pp. 247–256.
48. Riosa F.C., Chonga W.K., Graua D. Design for disassembly and deconstruction — challenges and opportunities // Procedia Engineering. 2015. Vol. 118. Pp. 1296–1304. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.485
49. Nussholz J.L.K., Rasmussen F.N., Milios L. Circular building materials: Carbon saving potential and the role of business model innovation and public policy // Resources, Conservation and Recycling. 2019. Vol. 141. Pp. 308–316. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.10.036
50. Charytonowicz J., Skowroński M. Reuse of Building Materials // Procedia Manufacturing. 2015. Vol. 3. Pp. 1633–1637. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.456
51. Honic M., Kovacic I., Rechberger H. Improving the recycling potential of buildings through Material Passports (MP): An Austrian case study // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 217. Pp. 787–797. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.01.212
52. Johansson N., Corvellec H. Waste policies gone soft: An analysis of European and Swedish waste prevention plans // Waste Management. 2018. Vol. 77. Pp. 322–332. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.04.015
53. Huuhka S., Kaasalainen T., Hakanen J. H., Lahdensivu J. Reusing concrete panels from buildings for building: Potential in Finnish 1970s mass housing // Resources, Conservation and Recycling. 2015. Vol. 101. Pp. 105–121. DOI: 10.1016/j.resconrec.2015.05.017
54. Arm M., Wik O., Engelsen C.J., Erlandsson M., Hjelmar O., Wahlström M. How does the European recovery target for construction & demolition waste affect resource management? // Waste and Biomass Valorization. 2017. Vol. 8. Pp. 1491–1504. DOI: 10.1007/s12649-016-9661-7
55. Yazdanbakhsh A. A bi-level environmental impact assessment framework for comparing construction and demolition waste management strategies // Waste Management. 2018. Vol. 77. Pp. 401–412. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.04.024
56. Blengini G.A. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: a case study in Turin, Ita-

- ly // *Building and Environment*. 2009. Vol. 44. Issue 2. Pp. 319–330. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.03.007
57. *Bribián I.Z., Capilla A.V., Usón A.A.* Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential // *Building and Environment*. 2011. Vol. 46. Issue 5. Pp. 1133–1140. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.12.002
58. *Wu H., Zuo J., Zillante G., Wang J., Yuan H.* Status quo and future directions of construction and demolition waste research: A critical review // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 240. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118163
59. *Eberhardt L.C.M., Birgisdottir H., Birkved M.* Potential of circular economy in sustainable buildings // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 471. DOI: 10.1088/1757-899X/471/9/092051
60. *Aras F.* Monitoring the dynamic properties of a nine-story reinforced concrete building during its demolition // *Structural control & Health Monitoring*. 2019. Vol. 26. Issue 11. DOI: 10.1002/stc.2456
61. *Бухарова О.* Глава наблюдательного совета Фонда содействия реформированию ЖКХ Сергей Степашин рассказывает о программе переселения // *Российская газета*. 2018. № 7724 (261).
62. *Yu B., Wang J., Li J., Zhang J., Lai Y., Xu X.* Prediction of large-scale demolition waste generation during urban renewal: A hybrid trilogy method // *Waste Management*. 2019. Vol. 89. Pp. 1–9. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.03.063
63. *Hossain M.U., Ng S.T.* Influence of waste materials on buildings' life cycle environmental impacts: Adopting resource recovery principle // *Resources, Conservation and Recycling*. 2019. Vol. 142. Pp. 10–23. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.11.010
64. *Sakai S., Poudel R., Asari M., Kirikawa T.* Disaster waste management after the 2016 Kumamoto Earthquake: A mini-review of earthquake waste management and the Kumamoto experience // *Waste Management and Research*. 2019. Vol. 37. Pp. 247–260. DOI: 10.1177/0734242X18815948
65. *Rosado L.P., Vitale P., Penteado C.S.G., Arena U.* Life cycle assessment of construction and demolition waste management in a large area of São Paulo State, Brazil // *Waste Management*. 2019. Vol. 85. Pp. 477–489. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.01.011
66. *Hu K., Chen Y., Naz F., Zeng C., Cao S.* Separation studies of concrete and brick from construction and demolition waste // *Waste Management*. 2019. Vol. 85. Pp. 396–404. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.01.007
67. *Nussholz J.L.K., Nygaard Rasmussen F., Milios L.* Circular building materials: Carbon saving potential and the role of business model innovation and public policy // *Resources, Conservation and Recycling*. 2019. Vol. 141. Pp. 308–316. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.10.036
68. *Гурфов А.О.* Анализ зарубежного опыта утилизации строительных отходов // Лучшая студенческая статья 2016 : сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конкурса. Пенза : Наука и Просвещение, 2016. С. 18–22.
69. *Гойкалов А.Н., Потапенко Е.А.* Эффективность применения ячеистых бетонов в ограждающих стеновых конструкциях гражданских зданий // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии в экологии». 2012. № 1. С. 58–61.
70. *Будник М.С., Карпова Т.С.* Демонтаж зданий и вторичное использование материалов // Материалы 57-й студенческой науч.-техн. конф. инженерно-строительного института ТОГУ. Хабаровск, 17–27 апреля 2017 г. Хабаровск, 2017. С. 48–51.
71. *Бахтина А.А., Охлопкова Т.В.* Использование вторичных строительных материалов для зеленого будущего // Современные научные исследования и разработки. 2018. Т. 3. № 4 (21). С 29–30.
72. *Золотухин С.Н., Луганский В.И., Назаренко Н.Г., Демиденко А.И., Макарычев К.В., Борисова М.И. и др.* Повторное использование железобетонных элементов зданий в конструкциях фундаментов // Химия, физика и механика материалов. 2019. № 1 (20). С. 72–91.
73. *Барсук Е.А.* Вторичное использование строительных материалов в Черноземье // Будущее науки — 2019 : сб. науч. ст. 7-й Междунар. молодежной науч. конф. Курск, 25–26 апреля 2019 г. Курск, 2019. С. 11–13.
74. *Слаутина К.А., Жуков М.М.* Вторичное использование и утилизация строительных материалов на примере бетона с легким заполнителем // Технические науки: проблемы и решения : сб. ст. по мат. XXIII Междунар. науч.-практ. конф. Москва, 21 мая 2019 г. М. : Интернаука, 2019. С. 100–103.
75. *Андрющенко В.В., Галаева Д.Х.* Область применения отработанных строительных материалов // Безопасный и комфортный город : сб. науч. тр. по мат. I Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. Орел, 29 сентября 2017 г. Орел, 2017. С. 179–182.
76. *Лукашевич Д.С., Туров А.В.* Строительные материалы на основе промышленных отходов // Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии : сб. ст. XXI Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 16–17 апреля 2019 г. Пенза : РИО ПГАУ, 2019. С. 70–72.
77. *Лукаш А.А., Лукутцова Н.П.* Эффективные строительные материалы и изделия из техногенных отходов для жилищного строительства // Вестник

Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2017. № 2. С. 26–37.

78. Тихонова И.Н., Лега С.Н. Экологические проблемы образования и утилизации ТБО и строительных отходов в регионе КМВ // Электронный научно-образовательный вестник «Здоровье и образование в XXI веке». 2017. Т. 19. № 7. С. 49–53. DOI: 10.26787/nydha-2226-7417-2017-19-7-49-53

79. Кудряшова Т.В., Баланина А.А., Свеженцева М.А. Проблемы утилизации строительных отходов и перспективы их решения // Актуальные проблемы и перспективы социально-экономического развития современной России : сб. ст. Всеросс. науч.-практ. конф. Великий Новгород, 24 марта 2017 г. Великий Новгород, 2017. С. 57–61.

80. Крыгина А.М., Крыгина Н.М. К вопросу воспроизводства жилищной недвижимости на основе рециклинга отходов строительной отрасли // Жилищные стратегии. 2018. Т. 5. № 3. С. 353–366.

81. Боденко Е.М., Перепеченов А.М. Геоэкологическая оценка способа сбора и вывоза строительных отходов в городской черте в процессе подготовки объекта к сносу // Естественные и технические науки. 2018. № 5 (119). С. 143–148.

82. Лютов В.Н., Барановская М.С. Особенности и перспективность современной технологии вторичной переработки железобетонных изделий в жилищном строительстве // Ползуновский альманах. 2016. № 1. С. 139–142.

83. Лунев Г.Г. Оценка экономического эффекта переработки конструкционных вторичных строительных ресурсов на предприятиях // Экологические системы и приборы. 2015. № 2. С. 49–55.

84. Черноиван В.Н., Леонович С.Н., Черноиван Н.В. Эффективные технологии производства

работ по ликвидации не эксплуатируемых производственных объектов // Наука и техника. 2016. Т. 15. № 2. С. 95–106.

85. Zolotukhin S.N., Chigarev A.G., Abdulloev A.R. Designing and constructing foundations on a landslide slope // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 463 (2). DOI: 10.1088/1757-899X/463/3/032088

86. Agrela F., Barbudo A., Ramirez A., Ayuso J., Carvajal M.D., Jiménez J.R. Construction of road sections using mixed recycled aggregates treated with cement in Malaga, Spain // Resources, Conservation and Recycling. 2012. Vol. 58. Pp. 98–106. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.11.003

87. Jimenez J.R., Ayuso J., Agrela F., Lopez M., Galvin A.P. Utilisation of unbound recycled aggregates from selected CDW in unpaved rural roads // Resources, Conservation and Recycling. 2012. Vol. 58. Pp. 88–97. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.10.012

88. Arulrajah A., Disfani M.M., Horpibulsuk S., Suksiripattanapong C., Prongmanee N. Physical properties and shear strength responses of recycled construction and demolition materials in unbound pavement base/subbase applications // Construction and Building Materials. 2014. Vol. 58. Pp. 245–257. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.02.025

89. Jimenez J.R., Agrela F., Ayuso J., Lopez M. A comparative study of recycled aggregates from concrete and mixed debris as material for unbound road sub-base // Materiales de Construcción. 2011. Vol. 61. Pp. 289–302. DOI: 10.3989/mc.2010.54009

90. Zhang J., Gu F., Zhang Y. Use of building-related construction and demolition wastes in highway embankment: Laboratory and field evaluations // Journal of cleaner production. 2019. Vol. 230. Pp. 1051–1060. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.182

Поступила в редакцию 29 августа 2019 г.

Принята в доработанном виде 1 октября 2019 г.

Одобрена для публикации 30 января 2020 г.

**О Б А В Т О Р АХ:** Сергей Александрович Колодяжный — доктор технических наук, профессор, ректор; Воронежский государственный технический университет (ВГТУ); 394026, г. Воронеж, Московский пр-т, д. 14; Scopus: 57194518420; rector@vgasu.vrn.ru;

Сергей Николаевич Золотухин — кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова, член Академии развития строительного комплекса; Воронежский государственный технический университет (ВГТУ); 394026, г. Воронеж, Московский пр-т, д. 14; Scopus: 57197812650, ORCID: 0000-002-113-9759; ser6812@yandex.ru;

Анатолий Александрович Абраменко — помощник ректора, начальник управления имущественным комплексом, ассистент кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова; Воронежский государственный технический университет (ВГТУ); 394026, г. Воронеж, Московский пр-т, д. 14; Scopus: 57197811950; abramenko\_aa@mail.ru;

Екатерина Анатольевна Артемова — магистрант кафедры градостроительства; Воронежский государственный технический университет (ВГТУ); 394026, г. Воронеж, Московский пр-т, д. 14; SPIN-код: 8597-6650; rc-36@yandex.ru.

## REFERENCES

1. Babenko G.V., Lukin M.V. Analysis of world tendencies and foreign experience of economic providing solution of tasks of renovation of buildings of city agglomerations. *Fundamental research*. 2017; 4-2:314-319. (rus.).
2. Drozhzhin R.A. Renovation of urban areas. *Proceedings of the all-Russian scientific and practical conference with international participation. Novokuznetsk, October 18-20, 2016*. Novokuznetsk, 2016; 307-310. (rus.).
3. Naletova A.S. Renovation of urban areas, built-up in 1950-1960-ies. *Best scientific article 2017: collection of articles IX International scientific and practical competition*. 2017; 271-273. (rus.).
4. Volchatova I.V., Statsenko Yu.Yu. Possibilities of secondary use of building materials within the program of renovation of houses. *Prospects of development of mining and metallurgical industry (Hosinski read — 2018): materials of the International scientific and practical conference. Irkutsk, November 29-December 01, 2018*. Irkutsk, IRNITU Publishing House, 2018; 280-285. (rus.).
5. Stavtsev E.A. The reasons for the renovation of industrial territories and the importance of this process in the formation of modern urban space. *Safe and comfortable city. Collection of scientific papers on the materials of the all-Russian scientific-practical conference. Oryol, September 27, 2018*. Oryol, Oryol State University named after I.S. Turgenev, 2018; 62-64. (rus.).
6. Moiseeva A.A., Chugunov A.V. Realization of renovation projects in the city of Voronezh to improve the efficiency of using the residential area. *Student and science*. 2018; 1:42-48. (rus.).
7. Korostin S.A. Stimulation of low-rise housing construction as a way to renovate housing policy of Russian regions. *Fundamental research*. 2015; 5-2:415-418. (rus.).
8. Zazulya V.S. Town-planning potential of “gentrification” of territories of the “grey belt” in modern conditions of Saint Petersburg. *Actual problems of architecture, urban planning and design: theory, practice, education. Proceedings of the International scientific conference. Volgograd, September 23–29, 2018*. Volgograd, VolgGTU, 2018; 165-169. (rus.).
9. Afanasiev K.S. Gentrification and re-industrialization in the urban development. *Vestnik of Pushkin Leningrad State University*. 2014; 6(2):48-60. (rus.).
10. Arlyanova P.A., Rodionova E.V. Gentrification and transformation of modern urban space (on the example of Russian cities). *Youth, science, technology: new ideas and perspectives (YST-2016). Proceedings of the III International scientific conference of students and young scientists. Tomsk, November 22–25, 2016*. Tomsk, Vol. state architect build University, 2016; 13-16. (rus.).
11. Huang B., Wang X., Kua H., Geng Y., Bleischwitz R., Ren J. Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. *Resources, Conservation and Recycling*. 2018; 129:36-44. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.029
12. Bzhenikov A.A., Nesterova V.A. Methods of dismantling buildings and structures. *Days of student science : Collection of reports of a scientific and technical conference based on the results of research work by students of the Institute of Construction and Architecture Moscow, March 12–16, 2018*. Moscow, 2018; 432-433. (rus.).
13. Muzakayev H.G., Ertuev A.R., Ladaria B.V., Artyenyan T.R., Zharkov D.A. Analysis of reconstruction and dismantling of residential buildings. *Journal of Economy and entrepreneurship*. 2018; 7(96):905-908. (rus.).
14. Isupov I.A. Analysis of technologies of stripping of buildings explosion and by the “cut and take down”. *Modern technologies in construction. Theory and practice*. 2017; 1:307-312. (rus.).
15. Knyazev A.A., Krasnoshchekova A.I., Timoshenko E.A. Features of dismantling of buildings. *Technique and technologies: ways of innovative development Collection of scientific papers of the 7th International scientific-practical conference. Kursk, June 29–30, 2018*. Kursk, 2018; 139-141. (rus.).
16. Konopleva A.A., Petrova T.A., Sekrij M.A. Features of dismantling of buildings and structures in urban areas. *Innovative development of regions: the potential of science and modern education : Proceedings of the National scientific and practical conference. Astrakhan, February 09, 2018*. Astrakhan, GAOU JSC VO “AGASU”, 2018; 68-74. (rus.).
17. Geldyev M.T., Arazov B.M. Technologies of demolition of buildings. *Youth and science: a step to success. Collection of scientific articles of the 3rd all-Russian scientific conference of perspective developments of young scientists. Kursk, March 21–22, 2019*. Kursk, University Book publ., 2019; 27-30. (rus.).
18. Galaeva N.L. The explosion method for demolition of buildings and structures in conditions of urban environment. *Science prospects*. 2019; 5(116):54-56. (rus.).
19. Velikanov N.L., Naumov V.A., Tarasov D.A. Use of destruction percussion at pulling down of building constructions. *KSTU NEWS*. 2011; 20:48-53. (rus.).
20. Kleemann F., Lederer J., Aschenbrenner P., Rechberger H., Fellner J. A method for determining buildings' material composition prior to demolition. *Building Research and Information*. 2016; 44(1):51-62. DOI: 10.1080/09613218.2014.979029
21. Mihai F.-C. Construction and Demolition Waste in Romania: The Route from Illegal Dumping to Building Materials. *Sustainability*. 2019; 11(11). DOI: 10.3390/su11113179

22. Dobrosotskikh M.G., Potekhin I.A., Kim T.S., Kostina D.P. Organization of piecemeal disassembly of the building with reuse of building structures and materials. *Construction and real estate*. 2018; 1-1(2):123-128. (rus.).
23. Fachratov M.A., Sulejmanov Kh.A., Bolotin O.A. Features of concreting and dismantling of buildings within the element system. *The Innovations and Investments magazine*. 2018; 4:341-344. (rus.).
24. Jesus S., Maia C., Farinha C.B., de Brito J., Veiga R. Rendering mortars with incorporation of very fine aggregates from construction and demolition waste. *Construction and Building Materials*. 2019;229. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116844
25. Jiménez J.R., Ayuso J., López M., Fernández J.M., De Brito J. Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. *Construction and Building Materials*. 2013; 40:679-690. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.11.036
26. Solís-Guzmán J., Marrero M., Montes-Delgado M.V., Ramírez-de-Arellano A. A Spanish model for quantification and management of construction waste. *Waste Management*. 2009; 29(9):2542-2548. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.05.009
27. Grigoriadis K., Whittaker M., Soutsos M., Sha W., Napolano L., Klinge A. et al. Improving the recycling rate of the construction industry. *Fifth International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. 2019; 1. DOI: 10.18552/2019/IDSCMT5044
28. Chen J., Su Y., Si H., Chen J. Managerial areas of construction and demolition waste: a scientometric review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018; 15(11). DOI: 10.3390/ijerph15112350
29. Iacovidou E., Purnell P., Lim M.K. The use of smart technologies in enabling construction components reuse: A viable method or a problem creating solution? *Journal of Environmental Management*. 2018; 216:214-223. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.04.093
30. Rose T.M., Manley K., Agdas D. A conceptual framework to investigate the adoption of on-site waste management innovation in Australian building projects. *2016 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*. 2017; 1830-1837. DOI: 10.1109/PICMET.2016.7806745
31. Guignot S., Touzé S., Von der Weid F., Ménard Y., Villeneuve J. Recycling construction and demolition wastes as building materials: a life cycle assessment. *Journal of Industrial Ecology*. 2015; 19(6):1030-1043. DOI: 10.1111/jiec.12262
32. Pittau F., Amato C., Cuffari S., Iannaccone G., Malighetti L.E. Environmental consequences of refurbishment vs. demolition and reconstruction: a comparative life cycle assessment of an Italian case study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 296. DOI: 10.1088/1755-1315/296/1/012037
33. Islam R., Nazifa T.H., Yuniarto A., Uddin A.S.M.S., Salmiati S., Shahid S. An empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling. *Waste Management*. 2019; 95:10-21. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.05.049
34. Letelier V., Henríquez-Jara B.I., Manosalva M., Moriconi G. Combined use of waste concrete and glass as a replacement for mortar raw materials. *Waste Management*. 2019; 94:107-119. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.05.041
35. Pavlu T., Pesta J., Volf M., Lupísek A. Catalogue of construction products with recycled content from construction and demolition waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 290. DOI: 10.1088/1755-1315/290/1/012025
36. Kianimehr M., Shourijeh P.T., Binesh S.M., Mohammadinia A., Arulrajah A. Utilization of recycled concrete aggregates for light-stabilization of clay soils. *Construction and Building Materials*. 2019; 227:11. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116792
37. Akhtar A., Sarmah A.K. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: a global perspective. *Journal of Cleaner Production*. 2018; 186:262-281. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.03.085
38. Cardoso R., Silva R.V., De Brito J., Dhir R. Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: a literature review. *Waste Management*. 2016; 49:131-145. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.12.021
39. Zolotukhin S.N. Opportunities for creating a regional cluster of reuse of construction waste. *Resource-energy-Efficient technologies in the construction complex of the region*. 2018; 10:209-212. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35191748>.
40. Zolotukhin S.N., Nasonova T.V., Potekhin I.A. Rational construction with reuse of construction materials, designs, products after demolition of buildings. *Resource-energy-Efficient technologies in the construction sector of the region*. 2018; 10:206-209. (rus.).
41. Zolotuhin S.N., Lobosok A.S. Reuse of building materials and use of waste production in minilevel construction. *Russian Journal of Building Construction and Architecture. Materials of the interregional scientific-practical conference "High technologies in ecology"*. 2011; 1:63-66. (rus.).
42. Zolotuhin S.N., Goykalov A.N., Kudjiku T. Application of indirect reinforcing in external bearing walls of buildings and constructions executed in the form of a laying from small cellular-concrete blocks. *Russian Journal of Building Construction and Architecture. Materials of the interregional scientific-practical conference "High technologies in ecology"*. 2012; 1:169-172. (rus.).
43. Shmelev G.D. Expert method of predicting the residual life of building structures of their physical dete-

- rioration. *Building and reconstruction*. 2014; 3(53):31-39. (rus.).
44. Zolotuhin S.N., Zolotuhina M.S. The use of waste building materials in the design of a sports complex. *Russian Journal of Building Construction and Architecture. Materials of the interregional scientific-practical conference "High technologies in ecology"*. 2011; 1:58-62. (rus.).
45. Sheffield H. Sweden's recycling is so revolutionary, the country has run out of rubbish. *Independent*. 2016. URL: <https://www.independent.co.uk/environment/sweden-s-recycling-is-so-revolutionary-the-country-has-run-out-of-rubbish-a7462976.html>
46. Zolotukhin C. *Rational construction*. URL: <https://www.youtube.com/channel/UCYGPk70gK-wN84pSlkQPR6dg>.
47. Kien T.T., Thanh L.T., Lu P.V. Recycling construction demolition waste in the world and in Vietnam. *The International Conference on Sustainable Built Environment for Now and the Future, Hanoi*. 2013; 247-256.
48. Riosa F.C., Riosa F.C., Chonga W.K., Graua D. Design for disassembly and deconstruction — challenges and opportunities. *Procedia Engineering*. 2015; 118:1296-1304. DOI:10.1016/j.proeng.2015.08.485
49. Nussholz J.L.K., Rasmussen F.N., Milios L. Circular building materials: Carbon saving potential and the role of business model innovation and public policy. *Resources, Conservation and Recycling*. 2019; 141:308-316. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.10.036
50. Chartytonowicz J., Skowroński M. Reuse of building materials. *Procedia Manufacturing*. 2015; 3:1633-1637. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.456
51. Honic M., Kovacic I., Rechberger H. Improving the recycling potential of buildings through Material Passports (MP): An Austrian case study. *Journal of Cleaner Production*. 2019; 217:787-797. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.01.212
52. Johansson N., Corvellec H. Waste policies gone soft: An analysis of European and Swedish waste prevention plans. *Waste Management*. 2018; 77:322-332. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.04.015
53. Huuhka S., Kaasalainen T., Hakanen J. H., Lahdensivu J. Reusing concrete panels from buildings for building: Potential in Finnish 1970s mass housing. *Resources, Conservation and Recycling*. 2015; 101:105-121. DOI: 10.1016/j.resconrec.2015.05.017
54. Arm M., Wik O., Engelsen C.J., Erlandsen M., Hjelmar O., Wahlström M. How does the European recovery target for construction & demolition waste affect resource management? *Waste and Biomass Valorization*. 2017; 8:1491-1504. DOI: 10.1007/s12649-016-9661-7
55. Yazdanbakhsh A. A bi-level environmental impact assessment framework for comparing construction and demolition waste management strategies. *Waste Management*. 2018; 77:401-412. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.04.024
56. Blengini G.A. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: a case study in Turin, Italy. *Building and Environment*. 2009; 44(2):319-330. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.03.007
57. Bribián I.Z., Capilla A.V., Usón A.A. Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment*. 2011; 46(5):1133-1140. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.12.002
58. Wu H., Zuo J., Zillante G., Wang J., Yuan H. Status quo and future directions of construction and demolition waste research: A critical review. *Journal of Cleaner Production*. 2019; 240. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118163
59. Eberhardt L.C.M., Birgisdottir H., Birkved M. Potential of circular economy in sustainable buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 471. DOI: 10.1088/1757-899X/471/9/092051
60. Aras F. Monitoring the dynamic properties of a nine-story reinforced concrete building during its demolition. *Structural control & Health Monitoring*. 2019; 26(11). DOI: 10.1002/stc.2456
61. Bukharova O. Sergey Stepashin, head of the Supervisory Board of the housing reform assistance Fund, talks about the resettlement program. *Russian newspaper*. 2018; 7724(261). (rus.).
62. Yu B., Wang J., Li J., Zhang J., Lai Y., Xu X. Prediction of large-scale demolition waste generation during urban renewal: A hybrid trilogy method. *Waste Management*. 2019; 89:1-9. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.03.063
63. Hossain M.U., Ng S.T. Influence of waste materials on buildings' life cycle environmental impacts: Adopting resource recovery principle. *Resources, Conservation and Recycling*. 2019; 142:10-23. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.11.010
64. Sakai S., Poudel R., Asari M., Kirikawa T. Disaster waste management after the 2016 Kumamoto Earthquake: A mini-review of earthquake waste management and the Kumamoto experience. *Waste Management and Research*. 2019; 37:247-260. DOI: 10.1177/0734242X18815948
65. Rosado L.P., Vitale P., Penteado C.S.G., Areana U. Life cycle assessment of construction and demolition waste management in a large area of São Paulo State, Brazil. *Waste Management*. 2019; 85:477-489. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.01.011
66. Hu K., Chen Y., Naz F., Zeng C., Cao S. Separation studies of concrete and brick from construction and demolition waste. *Waste Management*. 2019; 85:396-404. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.01.007
67. Nussholz J.L.K., Nygaard Rasmussen F., Milios L. Circular building materials: Carbon saving poten-

- tial and the role of business model innovation and public policy. *Resources, Conservation and Recycling*. 2019; 141:308-316. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.10.036
68. Gurfov A.O. The analysis of foreign experience of recycling construction waste. *Collection of articles II International scientific and practical competition*. 2016; 18-22. (rus.).
69. Gajkalov A.N. Potapenko E.A. More efficiently of fencing cellular concrete in wall structures civil buildings. *Russian Journal of Building Construction and Architecture. Materials of the interregional scientific-practical conference "High technologies in ecology"*. Penza, Science and Enlightenment, 2012; 1:58-61. (rus.).
70. Budnik M.S., Karpova T.S. Dismantling of buildings and secondary use of materials. *Materials of the 57th student scientific and technical conference of PNU Institute of civil engineering. Khabarovsk, April 17–27, 2017. Khabarovsk*, 2017; 48-51. (rus.).
71. Bakhtina A.A., Ohlopkova T.V. The use of recycled materials for a green future. *Modern research and development*. 2018; 3:4(21):29-30. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_36324318\\_86423318.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_36324318_86423318.pdf) (rus.).
72. Zolotukhin S.N., Lugansky V.I., Nazarenko N.G., Demidenko A.I., Makarychev K.V., Borisova M.I. et al. Reuse of reinforced concrete building elements in foundation structures. *Chemistry, physics and mechanics of materials*. 2019; 1(20):72-91. (rus.).
73. Barsuk E.A. Secondary use of building materials in the black earth region. *The future of science 2019. Collection of scientific articles of the 7th international youth scientific conference. Kursk, April 25–26, 2019. Kursk*, 2019; 11-13. (rus.).
74. Slatina K.A., Zhukov M.M. Reuse and recycling of building materials, for example concrete with a light filler. *Technical Sciences: problems and solutions. The proceedings of the XXIII international scientific-practical conference. Moscow, May 21, 2019. Moscow, Internauka publ.*, 2019; 100-103. (rus.).
75. Andrienko V.V., Galaeva D.H. Application area of waste building materials. *Safe and comfortable city. Collection of scientific papers on the materials of the I international scientific-practical conference of young scientists. Oryol, September 29, 2017. Oryol*, 2017; 179-182. (rus.).
76. Lukashevich D.S., Turov A.V. Building materials based on industrial wastes. *Russian cities: problems of construction, engineering, landscaping and ecology. Collection of articles XXI International scientific and practical conference. Penza, April 16-17, 2019 Penza, RIO PGAU*, 2019; 70-72. (rus.).
77. Lukash A.A., Lukutsova N.P. Effective building materials from industrial waste for housing. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies*. 2017; 2:26-37. (rus.).
78. Tikhonova I.N., Lega S.H. Environmental problems of education and utilization of msw and building wastes in the region of caucasus Mineralnye vody region. *On-line Scientific & Educational Bulletin "Health & education millennium"*. 2017; 19(7):49-53. DOI: 10.26787/nydha-2226-7417-2017-19-7-49-53 (rus.).
79. Kudryashova T.V., Balanina A.A., Svezhentseva M.A. Problems of utilization of building wastes and prospects of their solution. *Actual problems and prospects of social and economic development of modern Russia. Collection of articles of the all-Russian scientific and practical conference*. 2017; 57-61. (rus.).
80. Krygina A.M., Krygina N.M. On the issue of housing real estate reproduction on the basis of recycling of construction industry waste. *Russian Journal of Housing Research*. 2018; 5(3):353-366. (rus.).
81. Bodenko E.M., Perepechenov A.M. Geoecological assessment of the method of collection and removal of construction waste in the city in preparation for demolition. *Natural and technical Sciences*. 2018; 5(119):143-148. (rus.).
82. Lyutov V.N., Baranovskaya M.S. Features and prospects of modern technology of recycling of reinforced concrete products in housing construction. *Polyzunovsky almanac*. 2016; 1:139-142. (rus.).
83. Lunev G.G. Assessment of economic effect of processing of constructional secondary construction resources at the enterprises. *Ecological systems and devices*. 2015; 2:49-55. (rus.).
84. Chernovian V.N., Leonovich S.N., Chernovian N.V. High performance technologies for liquidation of non-operational production facilities. *Science & Technique*. 2016; 15(2):95-106. (rus.).
85. Zolotukhin S.N., Chigarev A.G., Abdulloev A.R. Designing and constructing foundations on a landslide slope. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 463(2). DOI: 10.1088/1757-899X/463/3/032088
86. Agrela F., Barbudo A., Ramírez A., Ayuso J., Carvajal M.D., Jiménez J.R. Construction of road sections using mixed recycled aggregates treated with cement in Malaga, Spain. *Resources, Conservation and Recycling*. 2012; 58:98-106. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.11.003
87. Jimenez J.R., Ayuso J., Agrela F., López M., Galván A.P. Utilisation of unbound recycled aggregates from selected CDW in unpaved rural roads. *Resources, Conservation and Recycling*. 2012; 58:88-97. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.10.012
88. Arulrajah A., Disfani M.M., Horpibulsuk S., Suksiripattanapong C., Prongmanee N. Physical properties and shear strength responses of recycled construction and demolition materials in unbound pavement base/subbase applications. *Construction and Building Materials*. 2014; 58:245-257. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.02.025

89. Jiménez J.R., Jiménez J.R., Agrela F., Ayuso J., López M. A comparative study of recycled aggregates from concrete and mixed debris as material for unbound road sub-base. *Materiales de Construcción*. 2011; 61:289-302. DOI: 10.3989/mc.2010.54009
90. Zhang J., Gu F., Zhang Y. Use of building-related construction and demolition wastes in highway embankment: Laboratory and field evaluations. *Journal of cleaner production*. 2019; 230:1051-1060. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.182

Received August 29, 2019.

Adopted in a revised form on October 1, 2019.

Approved for publication on January 30, 2020.

**BIO NOTES:** **Sergey A. Kolodyazhny** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector; **Voronezh State Technical University (VSTU)**; 14 Moskovsky prospect, Voronezh, 394026, Russian Federation; Scopus: 57194518420; rector@vgasu.vrn.ru;

**Sergei N. Zolotukhin** — Associate Professor, Professor, Professor of the Department of Building Constructions, Bases and Foundations named after Professor Yu.M. Borisov, member Of the Academy of building complex development; **Voronezh State Technical University (VSTU)**; 14 Moskovsky prospect, Voronezh, 394026, Russian Federation; Scopus: 57197812650, ORCID: 0000-002-113-9759; ser6812@yandex.ru;

**Anatoly A. Abramenco** — Assistant Rector, Head of Property Management, Assistant of the Department of Building Constructions, Bases and Foundations named after Professor Yu. M. Borisov; **Voronezh State Technical University (VSTU)**; 14 Moskovsky prospect, Voronezh, 394026, Russian Federation; Scopus: 57197811950; abramenko\_aa@mail.ru;

**Yekaterina A. Artemova** — Master's student of the Department of Urban Planning; **Voronezh State Technical University (VSTU)**; 14 Moskovsky Prospect, Voronezh, 394026, Russian Federation; SPIN-code: 8597-6650; rc-36@yandex.ru.

## **Благоустройство парковых комплексов городских агломераций**

**A.V. Остякова<sup>1,3</sup>, Е.В. Плюснина<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Институт водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН); г. Москва, Россия;

<sup>2</sup>ARS-Строй; г. Москва, Россия;

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

### **АННОТАЦИЯ**

**Введение.** Исследование экологических проблем водных объектов и обеспечение необходимого уровня санитарного содержания и благоустройства водоемов с прилегающей территорией актуально в связи с ненадлежащим экологическим состоянием большого числа городских водоемов и малых рек в пределах населенных пунктов.

**Материалы и методы.** Проведен обзор имеющихся нормативных документов и мероприятий по благоустройству городских водных объектов. На основе визуального исследования состояния берегов прудов в парке имени Карбышева в пос. Нахабино Московской области, качественных показателей воды, источников загрязнения пруда сделан вывод о неудовлетворительном экологическом, эстетическом состоянии и отсутствии благоустройства этого городского пруда. Цель исследования — проанализировать негативные экологические факторы, действующие на водный объект, и предложить вариант его благоустройства и дальнейшей безопасной эксплуатации.

**Результаты.** Дано описание территории пруда в парке имени Карбышева, а также специфицированы факторы, отрицательно влияющие на загрязнение берегов пруда и качество воды в нем. Перечислены минимально необходимые виды работ для очистки чаши пруда и благоустройства его прибрежной зоны при условии защиты экосистемы водоема. В результате комплексной оценки экологического состояния пруда построен прототип модели городского водного объекта и предложен вариант его благоустройства.

**Выводы.** Исследование имеет практическое значение для учета и устранения экологических проблем городских водоемов в средней полосе России и предложения мер по их улучшению и освоению.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** благоустройство территорий, городские водные объекты, безопасная эксплуатация объектов ЖКХ, благоустройство территории городских прудов, экологическая реконструкция парковых комплексов, экологическое состояние водных объектов, качество воды, обследование территорий городских водных объектов

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Остякова А.В., Плюснина Е.В. Благоустройство парковых комплексов городских агломераций // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 294–306. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.294-306

## **The landscaping of urban agglomeration park systems**

**Aleksandra V. Ostyakova<sup>1,3</sup>, Ekaterina V. Pluisnina<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences (WPI RAS); Moscow, Russian Federation;

<sup>2</sup>ARS-Stroy; Moscow, Russian Federation;

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

### **ABSTRACT**

**Introduction.** Studying water body ecological problems and ensuring the necessary level of sanitary maintenance and landscaping of the reservoirs with the surrounding areas are relevant due to the inadequate environmental condition of a large number of urban water bodies and small rivers within settlements.

**Materials and methods.** The review of the available normative documents and the carried-out actions on the improvement of city water objects is given. Based on the visual study of the state of the pond banks at the Karbyshev Park at the settlement of Nakhabino, Moscow region, water quality indicators, sources of pollution of the pond, the article concluded on the unsatisfactory ecological and aesthetic condition of this urban pond. The objective of this paper is to analyze the existing negative environmental factors affecting the water body and to propose an option of the site landscaping and further safe usage.

**Results.** A description of the Karbyshev Park territory is given. Also, negative factors influencing the pollution of the pond banks, and the quality of pond water are specified. A proposal contains a list of necessary types of activities on cleaning and improving the pond bowl and surrounding territory under the condition of preservation of its ecosystem. As a result of the integrated assessment of the pond ecological state, a model of the urban water body was created, and a variant of its ecological reconstruction was proposed.

**Conclusions.** The study is of practical importance for accounting and elimination of environmental problems of urban water bodies of the Central European Russia and proposals of measures for their improvement and reclamation.

**KEY WORDS:** landscaping, urban water bodies, safe maintenance of housing and communal services, urban pond landscaping, ecological reconstruction of park complexes, ecological status of water bodies, water quality, a survey of urban water bodies

**FOR CITATION:** Ostyakova A.V., Pluisnina E.V. The landscaping of urban agglomeration park systems. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(2) 294-306. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.294-306 (rus.).

## ВВЕДЕНИЕ

Исторически сложилось так, что люди изначально стремились селиться около водоемов и рек. Это обусловлено не только необходимостью развития транспортного сообщения, торговых путей, но и близостью к источникам водоснабжения как необходимого ресурса для жизнедеятельности, а также источника энергии. В современном мире населенные пункты также сосредоточены в основном около рек, водохранилищ, озер, морей. В каждом городе или поселке есть городские водоемы либо естественного происхождения, либо образованные путем зарегулирования рек, например, каскады прудов. При эксплуатации городских территорий наличие водоемов и рек, как и раньше, жизненно необходимо, поскольку они являются рекреационными объектами, служат для отдыха и поддержки здоровья населения [1–4], регулируют температуру и влажность в городе [5], улучшая микроклимат около территории водоема, другие экологические параметры [6–8]. Водоемы в сочетании с зелеными массивами — один из важнейших элементов благоустройства городской территории [9, 10]. В последние годы появилось целое направление в строительстве, посвященное использованию энергосберегающих технологий с применением экологичных материалов — экодевелопмент [11, 12]. Развитие территорий планируется с учетом безопасного использования водных объектов [13, 14] и для эффективной рекреации городского населения [15, 16].

Государственные целевые экологические программы, связанные с природопользованием в России, обеспечивают безопасность рационального использования природных ресурсов. Имеющиеся экологические программы направлены на сокращение выбросов и сбросов из очагов воздействия различного происхождения в окружающую среду — в воздух, воду и почву, а также на решение вопросов поддержания адекватного, здорового, соответствующего нормам экологического состо-

яния окружающей среды на национальном уровне и в муниципалитетах. Часто городские водоемы, в основном пруды, находятся в загрязненном, заброшенном состоянии (заросшие, неочищенные от мусора берега, мутная вода, непригодная для купания), т.е. в неудовлетворительном с экологической точки зрения. Для решения экологических проблем малых водных объектов, являющихся одним из основных показателей общего состояния городской экологии, в Российской Федерации необходим действующий административный и организационный механизм предотвращения, ограничения и устранения негативных воздействий. Один из элементов подобных организационных решений — разработка и реализация природоохранных и ресурсосберегающих мероприятий в городах. Это касается и водоемов в рекреационных зонах, поскольку они представляют собой одно из самых посещаемых мест отдыха.

Благоустройству городских водоемов, их берегов и поддержанию качества воды в водоемах посвящены современные отечественные и зарубежные научные исследования. В работах [17–19] исследуется антропогенное влияние, как правило, негативное, на качество воды в городских водных объектах при их эксплуатации. Поскольку несомненно, что благоустроенные городские водоемы необходимы для качественной рекреации населения, сделан обзор имеющихся федеральных и городских программ [20, 21], ставящих вопрос о поддержке экологического состояния городских водоемов и методах правового регулирования при решении экологических проблем [22–25], а также об ответственности за нарушения законодательства о благоустройстве [26]. Исследование химико-биологического состава воды в пресноводных водоемах, в частности, содержания биогенных веществ, посвящены работы [27, 28]. Обзор нормативных документов по благоустройству и поддержанию качества воды в городских водоемах приведен в трудах [29–31]. Обследованием участков дна городского пруда на основе геофизических методов занимаются в разных городах [32, 33], что говорит об актуальности проблемы

на национальном уровне. Инженерная оценка деградации береговых склонов водоемов дана в статье [34]. Вопрос благоустройства городских водоемов в небольших городах, часто имеющих неудовлетворительный внешний вид, неукрепленные и не-привлекательные для взгляда берега, непригодных для купания и отдыха, актуален еще и потому, что городские водоемы могут стать привлекательными для туристов, развития малого и среднего бизнеса [35–37]. Проблемы благоустройства малых городских водоемов раскрыты в работах [38, 39]. Поскольку для исследования проблем экологического состояния рассматривается конкретный водоем — пруд в парке имени Карбышева в пос. Нахабино Московской области, то для лучшего понимания расположения пруда, его состояния изучались различные источники, в том числе исторические [40].

Городские водные объекты находятся под постоянным влиянием антропогенных факторов: как прямых (например, сбросы загрязненных вод, вырубка лесов для строительства различных объектов, осушение либо заболачивание рек, озер, прудов, затопление участков земли и т.д.), так и косвенных (например, выбросы от транспорта или промышленных предприятий, загрязняющие атмосферу, могут попасть в водные объекты, в почву), а также комплексных. К сожалению, в большинстве случаев приходится говорить о негативном антропогенном воздействии на природную среду, нарушающем экосистему каждого конкретного объекта. Подобное воздействие выражается следующими видами:

- физическое — излишний нагрев воды из-за уменьшения глубины вследствие заиления, вычертывания песка у берегов для строительных целей, других причин, приводит к ухудшению качества воды и появлению биоты, отрицательно влияющей на экосистему водоема, в том числе гибели рыбы, сюда же относится накопление радиоактивных веществ;
- химическое — накопление ядовитых, токсичных веществ, тяжелых металлов, нитратов, фосфатов, углеводородов и проч.;
- к биологическому относится накопление определенных микроорганизмов и склонных к сбраживанию органических веществ, что ведет к снижению содержания в воде  $O_2$ , отправляет воду продуктами распада, микроорганизмы способствуют распространению инфекционных заболеваний.

Отличительная черта естественного баланса непроточных водоемов — озер и прудов — замедленный водообмен, тенденция к заиению, уменьшение площади поверхности водоема по этой причине и из-за превышения объема испарения и фильтрации над объемом поступающей с осадками или имеющимся стоком воды, следствием чего

являются сукцессивные изменения. Это влияет на количество и качество воды в пруду, озере или другом водоеме и на возможность ее применения для нужд питьевого, санитарного водоснабжения, рекреации и на преобразование качественного и количественного состава экосистемы пруда или озера, а также прибрежной зоны.

Поэтому необходимым является вопрос организации экологического мониторинга окружающей среды вообще и городских прудов в частности и системное, своевременное улучшение их экологического состояния, прежде всего проведение работ по благоустройству городских водоемов. По данным Всемирной организации здравоохранения, негативное влияние загрязненной окружающей среды на изменение здоровья населения в мире постоянно возрастает. В государственном отчете «О санитарно-эпидемиологической ситуации в Российской Федерации в 2010 году» отмечено, что ситуация с поверхностными и подземными источниками централизованного питьевого водоснабжения и качества воды в местах водозабора неудовлетворительная, качество воды в них ниже допустимых пределов, обозначенных в нормативных документах (36,8 % поверхностных источников и 16,4 % подземных) [28]. В России существует государственная программа «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 гг., которая предусматривает мониторинг и улучшение качества водных ресурсов, а также региональные программы. Например, только закончилась программа города Москвы «Развитие индустрии отдыха и туризма на 2012–2018 годы» [21]. Целью этой программы было создание инфраструктуры высокого уровня комфорта городской среды для организации отдыха и туризма в Москве, в том числе восстановление прудов в парках культуры и отдыха Москвы и адаптация городских водоемов для обеспечения отдыха разных групп населения. Как показали социологические опросы [41], необходимость качественного отдыха людей обусловлена возрастающим негативным влиянием урбанизированной среды на здоровье. Эксплуатация декоративных прудов также предусмотрена [21] в рамках подпрограммы «Индустрия отдыха в общественных местах», включая раздел «Охрана и капитальный ремонт поверхностных вод города Москвы».

В Московской области есть и программы для реализации проектов по развитию парковых зон, в том числе территорий городских водных объектов. Например, в Красногорске администрация города работает над благоустройством 29 парковых зон, в том числе прудов и озер.

При современных темпах урбанизации значительно сокращаются территории с естественным ландшафтом, что приводит к ухудшению состояния

окружающей среды. Чтобы уменьшить эти негативные явления, а также в целях борьбы с загрязнением и шумом предусматривают специальные мероприятия.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### *1. Описание водного объекта*

Объект исследования — пруд в парке имени Карбышева в пос. Нахабино Московской области. По итогам визуального обследования территории пруда в парковом комплексе сделан вывод о неудовлетворительном с экологической точки зрения состоянии территории пруда, включая берега; качество воды в этом водоеме (вода мутная и «цветет», на дне — мусор). Также отсутствуют признаки благоустройства вокруг данного пруда.

Назначение пруда площадью 2100 м<sup>2</sup>, как городского водоема, — рекреация. Пруд непроточный, глубиной до 2 м, замыкает каскад прудов, созданных притоком р. Нахабинка. Рассматриваемый парковый пруд имеет название Верхний, искусственно он связан с другим прудом, который называется Нижний. Несколько лет назад в Нахабино не велось обширное строительство, и к Нижнему пруду примыкала поляна. Теперь Нижний пруд изолирован от р. Нахабинка, так как проведены мероприятия для строительства жилого микрорайона, притока нет. В прибрежной зоне Верхнего пруда, в северной части, устроена зона для мусорной площадки и автостоянки, которые не оборудованы в соответствии с нормативными документами (должны быть в надлежащем санитарном состоянии мусорные контейнеры в парках, мусор должен вывозиться ежедневно [29], территория около мусорной площадки, а также территория автомобильной стоянки должны быть в надлежащем санитарном состоянии в соответствии с нормативами). Кроме того, если это охраняемая и огороженная автостоянка, на территории необходим свой контейнер, оборудованный навесами, ограждениями, водонепроницаемым покрытием, для сбора коммунального мусора, владелец автостоянки обязан заключить договор на вывоз мусора со специализированной компанией. Уборка и контроль чистоты водного объекта и парковой территории включают:

- основную уборку береговой линии и парковой территории в вечернее время;
- организацию санитарной очистки днем, которую следует осуществлять по мере загрязнения;
- уборку урн, которые должны располагаться на расстоянии 10 м до линии воды, 5 м до зеленых насаждений, 40 м до следующей урны, следует осуществлять по мере загрязнения.

Верхний пруд питается поверхностными и фильтрационными водами, сток не поступает.

Дождевая и талая вода попадает в пруд с территории города через ливневую канализацию или (при отсутствии ливневых канализационных коллекторов) неорганизованно, самотеком к самым низким точкам местности в том же пруду. Среднемесячное количество осадков в Красногорском районе составляет 57 мм, наименьшее количество осадков наблюдается в марте (32 мм), максимальное — в июле (89 мм), среднегодовой объем испарения составляет 434 мм, часть воды инфильтруется. Через канализационную сеть часть сточных вод также может поступать в пруд из городской канализации.

В 2019 г. население Нахабино составляло более 43,4 тыс. жителей, для ориентировочного расчета принято, что около 10 тыс. из них еженедельно (из них часть ежедневно) посещают парк. Можно предположить, что в среднем около 1000 жителей посещают парк имени Карбышева каждый день, их может быть больше в выходные дни. Кроме того, жители Нахабино ежедневно ходят к остановке транспорта через парк. Вывоз накопленного на площадке бытового мусора осуществляется каждую неделю муниципальными службами, а раз в сезон проводятся работы по уборке территории парка, чего, на наш взгляд, недостаточно. При регламентной норме накопления коммунальных отходов для Московской области 1,45 м<sup>3</sup>/чел. в год [42] и таком количестве посетителей парка в неделю может накапливаться 27,8 м<sup>3</sup> различных коммунальных отходов. Получается, что на территории парка в неделю, включая выходные дни, в среднем может накапливаться до 100 кг и больше отходов (5,56 т отходов в неделю). При использовании стандартных мусорных контейнеров вместимостью 0,75 м<sup>3</sup> их потребуется 37 штук на рассчитанный нормативный объем отходов. Кроме того, можно использовать также контейнеры или бункеры для сбора мусора большей емкости. В настоящее время парк не оборудован необходимым количеством мусорных контейнеров, не заключен договор с организациями на сбор и вывоз такого объема мусора.

По данным 2016 г. [28, 43], хотя показатели качества воды в пруду не превышают предельно допустимые концентрации загрязнений, качество воды все же близко к предельно допустимым по следующим показателям: жесткости (6,4), мутности (2,5), количеству фторидов (1,3 мг/л) и железа (0,24 мг/л). Это говорит о том, что в пруд не поступает чистая проточная вода, а поступает загрязненный сток, возможно, из канализации или ливневки. Проверить этот факт не оказалось возможным. По другим показателям (вкус, запах, цвет, аммиак, нитриты, нитраты, сульфаты, хлориды, марганец) показатели намного ниже нормы ПДК. Качественные показатели воды зависят не только от типа грунта,

рельефа и климатических условий, сколько от объема и качества воды, поступающей в пруд из городской местности.

Растворенные и слаборастворимые загрязнители — химические (неорганические и органические) вещества, включая пестициды и минеральные удобрения, доставляются в подземные воды путем инфильтрации.

Входящие сточные воды из городских районов (приблизительно 16 % от общего стока) могут содержать тяжелые металлы (от транспорта, промышленных предприятий), быть биологически (бактерии, гельминты, микробы, вредные для здоровья человека и животных, фитопланктон и водоросли), термически загрязненными (при низкой температуре, если мутная вода больше прогревается), также в некоторых случаях возможны электромагнитные загрязнения), механические загрязнения (зарастание чаши пруда травой, засорение мусором, захоронение бытовых отходов, увеличение содержания твердых минеральных частиц взвеси или других нерастворимых в воде частиц, размывание берегов, влияющее на качество воды), возможно и радиационное загрязнение при отсутствии необходимых мер и устройств для очистки воды.

Каждый тип загрязнения воды в пруду имеет антропогенное происхождение, и методы очистки для каждого из них предложены ниже (рис. 1). Если пруд очищен от существующих загрязнений различного происхождения, он находится в хорошем

состоянии, имеет эстетический вид и соответствует санитарным требованиям [30, 31]. Но пока работы по реконструкции и благоустройству городского пруда не были выполнены.

#### *2. Способы очистки воды и берега городского пруда.*

Очистка водоемов предполагает улучшение качества воды, очистку акватории (дна) и берега и прибрежной полосы вокруг пруда — удаление донных отложений, ила, подводного мусора (рис. 1, 2).

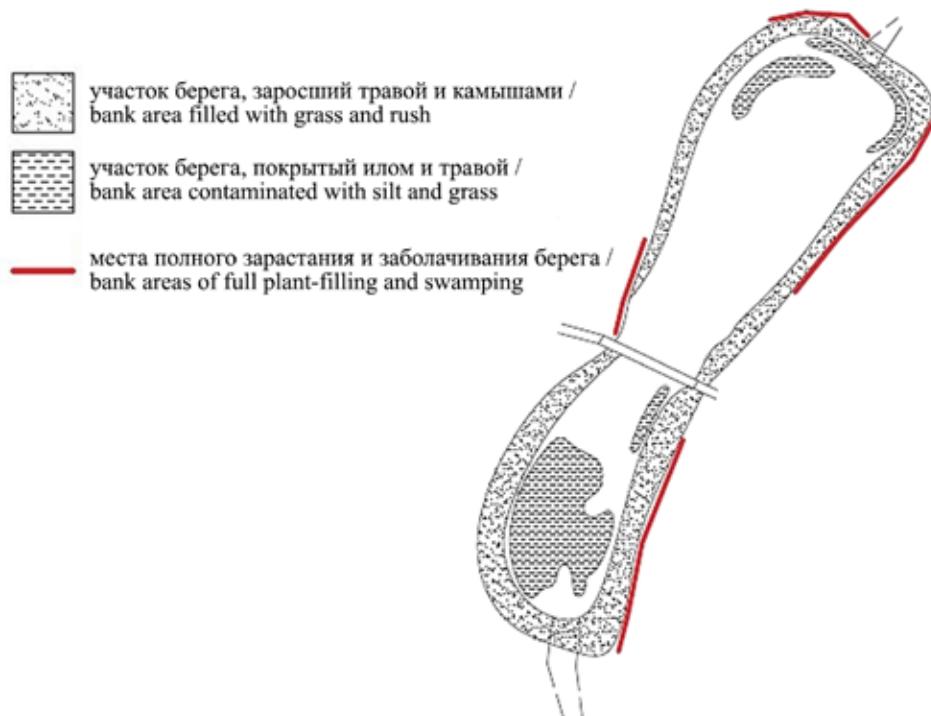
Вода в пруду в парке имени Карбышева — мутная, берега заросли травой, кустами, в воде на обозначенных на рис. 2 зонах также имеется зарастание подводной части берега и дна водорослями, кувшинками. Поскольку пруд сравнительно небольшой по площади и глубине, то для механической очистки дна от ила и водорослей рекомендуется использовать способ выемки грунта с заиленных участков при помощи водолазов, средств малой механизации, а также бульдозера либо способ гидромеханизации — дноуглубление. Дноуглубительные работы имеют эксплуатационный характер, так как нужны для очистки водоема от всех типов загрязнения, которые препятствуют эксплуатации водоема.

Пруд не имеет тенденции к осушению, подвержен заболачиванию, — это видно по степени зарастания береговой линии пруда травой и камышами. На основе визуального обследования пруда составлена схема (рис. 2) зон заболачивания: при площади зеркала пруда 2100 м<sup>2</sup> зона заиливания составляет-



**Рис. 1. Парк имени Карбышева: вид со спутника и фото пруда**

**Fig. 1. The Karbyshev Park: a satellite view and photographs of the pond**



**Рис. 2.** Схема расположения загрязненных участков пруда в парке имени Карбышева

**Fig. 2.** Diagram of the location of contaminated areas of the pond at the Karbyshev Park

ет 46 %, зона зарастания — 22 %. Уровень заболачивания превышает 50 % — это опасный уровень для пруда.

Возможно временное осушение части пруда с последующим заполнением чистой водой.

Химические способы очистки для данного пруда не рекомендуются, так как пруд находится вдали от автомагистралей и промпредприятий, а превышения нормы ПДК по тяжелым металлам в воде данного пруда не наблюдается.

То же касается биологических способов очистки.

Берега данного водоема не укреплены по всему периметру, довольно пологие, сложены сулглинком и супесью. Склон берега имеет в среднем угол 10°, что ниже естественного угла откоса сулглинка и супеси.

Для благоустройства береговой линии пруда рекомендуется сформировать чашу пруда таким образом, чтобы емкость и глубина пруда увеличились, т.е. провести дноуглубительные работы; угол склона берега увеличить, а сами склоны укрепить георешеткой (рис. 3) и заполнением щебнем и обустройством прогулочных дорожек и освещения (рис. 4). Для укрепления берегового склона пруда можно также применить каменную наброску, данный вид работ имеет большую стоимость по сравнению с укреплением георешеткой.

### 3. Предложения по благоустройству территории городского пруда в парке имени Карбышева.

На территории парка около Верхнего пруда на сегодняшний день отсутствуют элементы благоустройства: дорожки, скамейки, освещение, декоративные элементы, малые архитектурные формы согласно СП 80.13330.2016 «Благоустройство территорий».

Самое главное, для поддержания нормального экологического состояния пруда необходимо создать его проточность, водообмен, одновременно с работами по дноуглублению и укреплению берегов для улучшения температурно-влажностного режима, исключить заболачивание территории пруда.

Для восстановления экологического состояния воды и берегов пруда требуется осуществить ряд мер:

- ручным способом или с использованием механизации удалить сорняки, ветки, мусор вдоль береговой линии и на поверхности воды, чтобы предотвратить цветение воды и обеспечить нормальное состояние существующей экосистемы;
- укрепить линию берега с применением инженерных методов (рис. 3) по всей длине ( $L = 494$  м);
- заполнить чашу пруда чистой водой до расчетной отметки уровня воды;
- искусственно создать проточность пруда путем установки аэраторов;

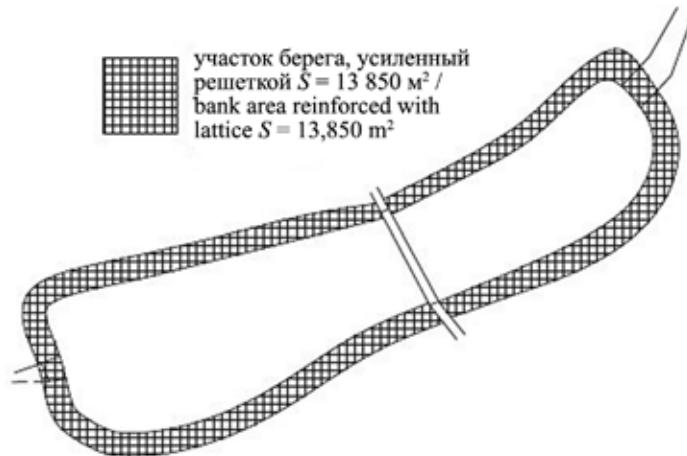


Рис. 3. Укрепление георешеткой берега пруда в парке имени Карбышева

Fig. 3. Geolattice-strengthening the pond bank at the Karbyshev Park

- для предотвращения попадания загрязнений с городской территории с поверхностным стоком вокруг пруда устроить дренажную систему;
- для предотвращения заболачивания следует посадить подходящие кусты и деревья;
- установить «умное» освещение [44];
- обустроить дорожки вокруг пруда для прогулок, установить скамейки и урны;
- установить малые архитектурные формы [45];
- реконструкцию мостика через пруд с благоустройством прилегающих парковых дорог.

Состав работ по берегоукреплению георешеткой следующий [46]:

- удаление растительности вдоль берега;
- удаление верхнего слоя почвы с последующим выравниванием;

- удаление корней и мусора;
- установка георешетки (настил, соединение и фиксация);
- заполнение ячеек землей;
- посев растительности.

Преимущества георешетки — легкий монтаж, сохранение внешнего вида берега, сравнительно дешевый материал. Другие мероприятия по благоустройству приведены в табл. 1.

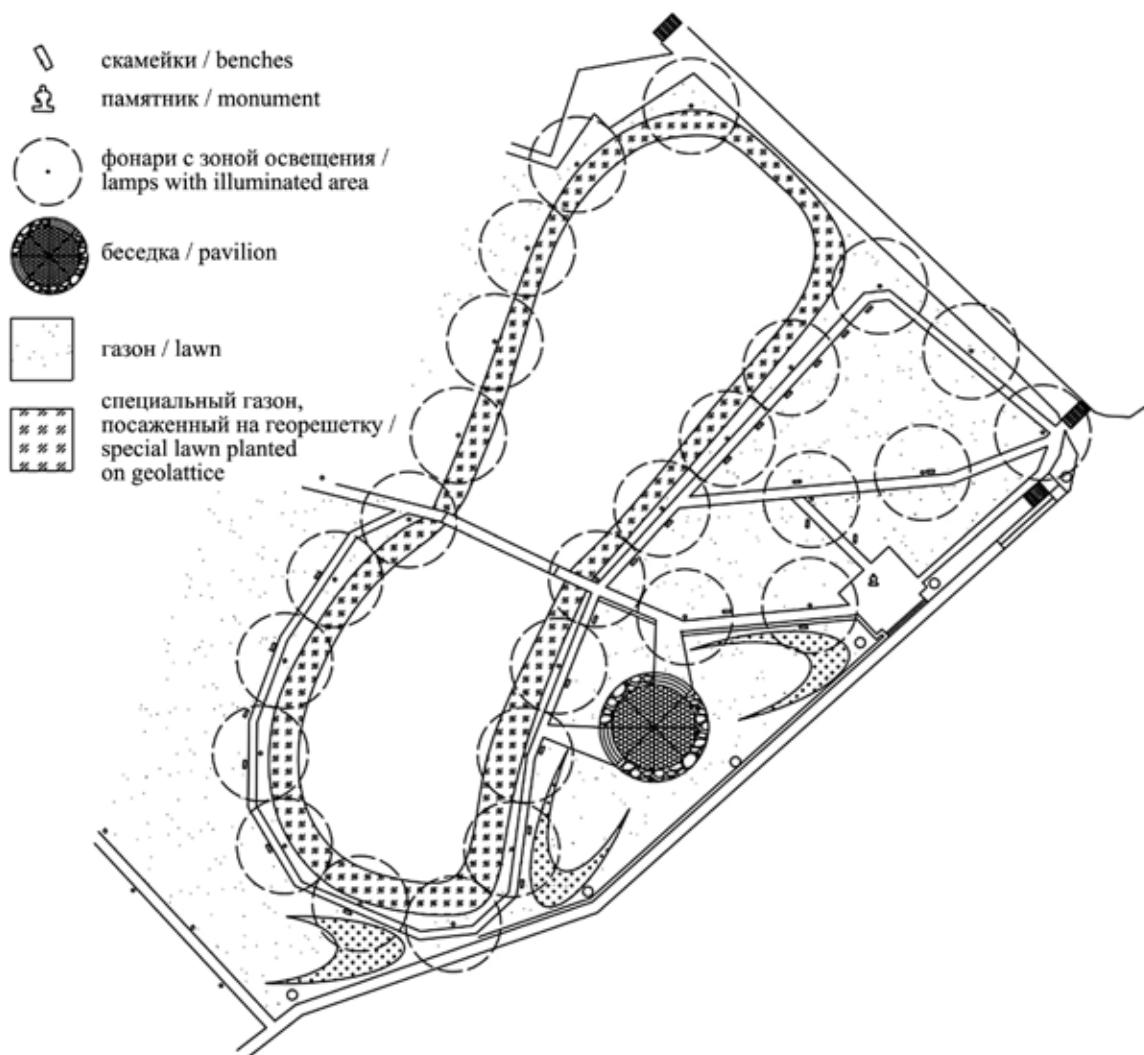
На основе оценки экологического состояния городского пруда в пос. Нахабино Красногорского района Московской области предлагается проведение мероприятий по его благоустройству.

Перед проведением работ по благоустройству территории пруда следует конкретизировать объемы перечисленных работ, а также предусмотреть

Табл. 1. Мероприятия по благоустройству Нижнего пруда в парке имени Карбышева

Table 1. Measures on the landscaping of the Nizhnyi pond at the Karbyshev Park

Номер п/п / Item No.	Мероприятия по благоустройству / Landscaping measures	Объем работ / Volume of activities
1	Очистка берега от травы и различного мусора / Bank cleaning from grass and various garbage	462
2	Очистка воды от мусора, ила и различных растений / Water cleaning from garbage, silt, and vegetation	966
3	Берегоукрепление / Bank stabilization: • срезка растительного слоя вдоль берега / topsoil stripping along the bank; • поднятие берега на 0,5 м над землей / 0.5 m bank lifting above the ground level; • установка георешетки / geolattice installation; • засыпка землей / ground strewing	13 850 м <sup>2</sup> / m <sup>2</sup> 6925 м <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> 13 850 м <sup>2</sup> / m <sup>2</sup> 692,5 м <sup>3</sup> / m <sup>3</sup>
4	Укладка дорожек / Path surfacing: • шириной 2 м / of 2 m width; • прочее / other	400 м / m 100 м / m
5	Установка фонарей / Lamp installation	27 шт. / pcs
6	Установка скамеек / Bench installation	26 шт. / pcs



**Рис. 4.** Благоустройство Нижнего пруда

**Fig. 4.** Landscaping of the Nizhnyi pond

меры по обеспечению чистоты воды и отсутствия примесей при эксплуатации этого водоема в будущем. Например, применение устройств для принудительного водообмена и аэрации воды обеспечит нормальный кислородный режим и, если необходимо зарыбление водоема [47]. Важной частью работ по благоустройству территории пруда является сохранение имеющейся экосистемы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведен анализ законодательных и нормативных документов федерального и регионального уровня, а также научной литературы по безопасности водной среды, благоустройству и поддержанию городских водоемов в так называемом нормальном экологическом состоянии. На основании обследования территории парка и анализа источников ин-

формации сделан вывод о неудовлетворительном состоянии прибрежной зоны пруда и качестве воды, выявлены и проанализированы источники загрязнений воды и прибрежной территории пруда. Предложены необходимые работы для благоустройства территории пруда с сохранением его экосистемы. Представлен прототип модели городского водного объекта и предложен вариант благоустройства пруда в парке имени Карбышева в пос. Нахабино (рис. 5). Материалы данной работы докладывались на всероссийских конференциях, макет благоустройства был представлен на молодежной выставке. Данную научную работу планируется продолжить с обоснованием и конкретизацией объемов работ, уточнением технологий проведения работ не только по данному объекту, но и с верификацией технологии проведения работ по благоустройству городских прудов на другие городские водные объекты средней полосы России.



**Рис. 5.** Фотография макета благоустройства территории пруда в парке имени Карбышева

**Fig. 5.** Photograph of the scale model of pond landscaping at the Karbyshev Park

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Мероприятия по благоустройству водных объектов проводятся с целью поддержания экологического состояния, сохранения рекреационных территорий в городе, здоровья населения и придания эстетически привлекательного вида природным объектам. Реализация мероприятий по благоустройству городского пруда в парке имени Карбышева и самого парка благоприятно скажется на здоровье населения, проживающего рядом с парком, и на облике как парка имени Карбышева, так и Нахабино в целом. Пруд парка имени Карбышева, как объект рекреационной зоны, в результате благоустройства улучшит свое функциональное назначение и станет более привлекательным для посещения жителями в качестве туристического объекта.

При благоустройстве пруда следует проводить работы с меньшим промежутком времени и количеством работ. Не всегда проведение реконструкции может благоприятно сказать на водном объекте.

Для получения качественного результата следует руководствоваться нормативными документами. А также проводить углубленные исследования по реабилитации и рекультивации водных объектов и опираться не только на теоретические знания, но и на практические. Вышеуказанные мероприятия по благоустройству водных объектов возможны в реализации. В данной области будут проводиться еще более точные обследования и расчеты.

Настоящее исследование стало начальным этапом разработки методики благоустройства территории прудов в парковых комплексах, необходимо продолжить данную работу по обследованию водных объектов в парках Красногорского района с распространением методики на другие объекты. Это позволит улучшить общее состояние окружающей среды водоемов в Красногорском районе. Кроме представления на выставках, проект реконструкции данного объекта планируется популяризировать и включить в городские программы.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Sullivan P.W., Ghushchyan V., Kavati A., Ortiz B., Navaratnam P., Friedman H.S. Trends in asthma control, treatment, health care utilization, and expenditures among children in the United States by place of residence: 2003–2014 // The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice. 2019. Vol. 7. Issue 6. Pp. 1835–1842. DOI: 10.1016/j.jaip.2019.01.055*
2. *Yazyeva S.B., Seferyan L.A., Oparina L.A., Golubeva A.Yu. Greening technology organization of multi-storey buildings, in the reconstruction of archi-*

- tectural and planning solutions with the use of modern building materials // Materials Science Forum. 2018. Vol. 931. Pp. 883–888. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.883
3. Duan X., Wei X. Urban regeneration under the influence of society, culture and policy: comparison of three historical streets (areas) in the former french concession in Shanghai // Urban form and social context: from traditions to newest demands : proceedings of the XXV ISUF International Conference. 2019. Pp. 395–401.
  4. Frank L.D., Hong A., Douglas V.N. Causal evaluation of urban greenway retrofit: A longitudinal study on physical activity and sedentary behavior // Preventive Medicine. 2019. Vol. 123. Pp. 109–116. DOI: 10.1016/j.ypmed.2019.01.011
  5. Lee Z.H., Sethupathi S., Lee K.T., Bhatia S., Mohamed A.R. An overview on global warming in Southeast Asia: CO<sub>2</sub> emission status, efforts done, and barriers // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Vol. 28. Pp. 71–81. DOI: 10.1016/j.rser.2013.07.055
  6. Pihlajaniemi H., Juntunen E., Luusua A., Tarkka-Salin M., Juntunen J. SenCity — piloting intelligent lighting and user-oriented services in complex smart city environments // Proceedings of eCAADe 2016. 2016. Vol. 1. Pp. 669–680. URL: [https://pdfs.semanticscholar.org/3051/292862bdb650056a0db50aa6c4cc4c93bf71.pdf?\\_ga=2.53985448.1828725800.1581263826-1226791662.1580068284](https://pdfs.semanticscholar.org/3051/292862bdb650056a0db50aa6c4cc4c93bf71.pdf?_ga=2.53985448.1828725800.1581263826-1226791662.1580068284)
  7. Ito R., Aoyagi T., Hori N., Oh'izumi M., Kawase H., Dairaku K. et al. Improvement of snow depth reproduction in Japanese urban areas by the inclusion of a snowpack scheme in the SPUC Model // Journal of the Meteorological Society of Japan. 2018. Vol. 96. Issue 6. Pp. 511–534. DOI: 10.2151/jmsj.2018-053
  8. Korol E., Shushunova N. Multi-criteria evaluation of the organizational and technological options for green roof systems installation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 471. P. 082011. DOI: 10.1088/1757-899X/471/8/082011
  9. Korol S., Shushunova N., Shushunova T. Indicators of the resource efficiency development in Russia // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 193. P. 05075. DOI: 10.1051/matecconf/201819305075
  10. Korol O., Shushunova N., Lopatkin D., Zanin A., Shushunova T. Application of high-tech solutions in ecodevelopment // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 251. P. 06002. DOI: 10.1051/matecconf/201825106002
  11. Gamayunova O., Radaev A., Petrichenko M., Shushunova N. Energy audit and energy efficiency of modular military towns // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 110. P. 01088. DOI: 10.1051/e3s-conf/201911001088
  12. Kolobaeva J.S. Ensuring environmental safety of water bodies for urban areas (on the example of Moscow region) // Contemporary Problems of Social Work. 2016. No. 4 (8). Pp. 134–141. DOI: 10.17922/2412-5466-2016-2-4-134-141
  13. Melkumov V.N., Chuykin S.V., Melnikova A.A. Territorial planning of recreational areas adjacent to a residential development area // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2016. No. 3 (31). Pp. 80–88.
  14. Rossoshanskaya E.A. The quality of labor potential outside large cities // Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast. 2018. Vol. 11. Issue 1. Pp. 164–179. DOI: 10.15838/esc.2018.1.55.11
  15. Савельев М.В., Киселева Д.А., Бондарь Н.В., Пигин Ю.А. Принципы формирования городских общественных рекреационных зон набережных территорий // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. 2019. № 33. С. 173–188. DOI: 10.17223/22220836/33/15
  16. Балова Е.К., Волшаник В.В., Суздалева А.Л. Натурное исследование антропогенного влияния на качество воды в реке Протве // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании : сб. мат. Междунар. науч. конф. Москва, 16–17 ноября 2016 г. М., 2017. С. 859–866.
  17. Бойкова И.Г., Волшаник В.В., Карпова Н.Б., Печников В.Г., Пузырев Е.М. Эксплуатация, реконструкция и охрана водных объектов в городе. М. : Изд-во АСВ, 2008. 256 с.
  18. Боровков В.С., Волшаник В.В. Инженерные системы замкнутого насосного водооборота и аэрации при экологической реконструкции гидросферы урбанизированных территорий // Вода и экология: проблемы и решения. 2016. № 3 (67). С. 67–82.
  19. Карелина А.А., Самойлов Н.Е. Методы правового регулирования при благоустройстве прибрежных территорий // Вестник современных исследований. 2018. № 8–4 (23). С. 194–196.
  20. Неверова-Дзионак Е.В., Цветкова Л.И., Макарова С.В., Киселев А.В. Об экологической безопасности водных объектов // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. С. 136.
  21. Румянцев В.А., Крюков Л.Н. Приоритетные проблемы экологической безопасности континентальных водоемов России // Общество. Среда. Развитие. 2017. № 4 (45). С. 129–135.
  22. Григорьева О.А. Объекты благоустройства как пример нетипичной недвижимости // Бизнес, менеджмент и право. 2019. № 2. С. 59–63.
  23. Султанов К.А. Некоторые проблемные вопросы установления административной ответственности за нарушения законодательства о благоустройстве органов местного самоуправления // Вестник Московского университета МВД России. 2019. № 3. С. 224–226. DOI: 10.24411/2073-0454-2019-10171
  24. Кузовлев В.В., Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Чекмарева Е.А. Содержание биогенных

- веществ в воде озер Песьво и Удомля // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах : тр. VI Всеросс. симпозиума с междунар. уч. Барнаул, 28 августа–01 сентября 2017 г. Барнаул, 2017. С. 120–123.
25. Эльпинер Л.И. Медико-экологические аспекты кризиса питьевого водоснабжения // Гигиена и санитария. 2013. Т. 92. № 6. С. 38–44.
26. Кузин А.В., Банникова П.А. Геофизические исследования участков дна городского пруда в Екатеринбурге // Уральский геологический журнал. 2018. № 1 (121). С. 44–51.
27. Прищутов К.А., Астанов А.Ю. Анализ территории на основе ортофотосъемки для дальнейшего благоустройства // Наука и Образование. 2019. № 2. С. 88.
28. Остякова А.В. Инженерно-экологическая оценка береговых процессов на водных объектах (на примере Угличского водохранилища) // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 10 (109). С. 1163–1171. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.10.1163-1171
29. Плюснина Е.В., Остякова А.В. Благоустройство водных объектов на территориях городских парковых комплексов // Молодежные инновации : сб. мат. семинара молодых ученых XXII Междунар. науч. конф. Ташкент, 18–21 апреля 2019 г. Москва, 2019. С. 241–246.
30. Сметанин В.И., Власов В.А. Обустройство городских водных объектов // Природообустройство. 2009. № 2. С. 22–29.
31. Тренькаева Г.В. Системообразующие элементы услуг в структуре благоустройства
- ством города // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2018. Т. 3. № 4 (14). С. 209–211.
32. Цупикова Н.А., Дроздова А.С. Проблемы благоустройства малых городских водоемов на примере пруда Поплавок (г. Калининград) // Научно-исследовательские публикации. 2016. № 2 (34). С. 117–126.
33. Яковцева-Кистяковская В.А. Основные проблемы благоустройства городской территории // Вестник научных конференций. 2018. № 12–3 (40). С. 188–190.
34. Шевченко Е.А., Приваленко В.И. 520 лет Нахабино. М. : Артель-Арт, 2002. 139 с.
35. Plyusnina Ye., Ostiakova A. Safe operation and reconstruction of urban water bodies in the park complexes // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 251. P. 06026. DOI: 10.1051/matecconf/201825106026
36. Овчаров А.Т., Костарева А.С. Концептуальные решения в наружном освещении на современном этапе технических и эстетических возможностей светового благоустройства города // Вестник ТГАСУ. 2019. Т. 21. № 2. С. 134–157. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-2-134-157
37. Русакович Е.В., Терещук А.О., Халамейда Н.В. Проект благоустройства участка берега озера «Кулгучное» с применением малых архитектурных сооружений // Вестник Камчатского политехнического техникума. 2018. № 18. С. 18–26.
38. Комилов Ф.С., Мирзоев С.Х., Акобирзода Ф. О технологиях выращивания опытного нагульного рыбоводного пруда // Проблемы науки. 2016. № 2 (3). С. 9–13.

Поступила в редакцию 12 ноября 2019 г.

Принята в доработанном виде 4 декабря 2019 г.

Одобрена для публикации 30 января 2020 г.

**О Б А В Т О Р АХ:** Александра Витальевна Остякова — кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник; Институт водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН); 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3; доцент кафедры жилищно-коммунального комплекса; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 5402-0523, Scopus: 6506521721, ORCID: 0000-0002-6030-1679, ResearcherID: P-4060-2014; OstyakovaAV@mgsu.ru;

Екатерина Владиславовна Плюснина — помощник главного инженера проекта; АРС-Строй; 119021, г. Москва, Фрунзенская наб., д. 8; магистрант; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; pluskott@yandex.ru.

## REFERENCES

1. Sullivan P.W., Ghushchyan V., Kavati A., Ortiz B., Navaratnam P., Friedman H.S. Trends in asthma control, treatment, health care utilization, and expenditures among children in the United States by place of residence: 2003–2014. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*. 2019; 7(6):1835–1842. DOI: 10.1016/j.jaip.2019.01.055

2. Yazyeva S.B., Seferyan L.A., Oparina L.A., Golubeva A.Yu. Greening technology organization of multi-storey buildings, in the reconstruction of architectural and planning solutions with the use of modern building materials. *Materials Science Forum*. 2018; 931:883-888. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.883
3. Duan X., Wei X. Urban regeneration under the influence of society, culture and policy: comparison of three historical streets (areas) in the former french concession in Shanghai. *Urban form and social context: from traditions to newest demands. Proceedings of the XXV ISUF International Conference*. 2019; 395-401.
4. Frank L.D., Hong A., Douglas V.N. Causal evaluation of urban greenway retrofit: A longitudinal study on physical activity and sedentary behavior. *Preventive Medicine*. 2019; 123:109-116. DOI: 10.1016/j.ypmed.2019.01.011
5. Lee Z.H., Sethupathi S., Lee K.T., Bhatia S., Mohamed A.R. An overview on global warming in Southeast Asia: CO<sub>2</sub> emission status, efforts done, and barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013; 28:71-81. DOI: 10.1016/j.rser.2013.07.055
6. Pihlajaniemi H., Juntunen E., Luusua A., Tarkka-Salin M., Juntunen J. SenCity — piloting intelligent lighting and user-oriented services in complex smart city environments. *Proceedings of eCAADE 2016*. 2016; 1:669-680. URL: [https://pdfs.semanticscholar.org/3051/292862bdb650056a0db50aa6c4cc4c93bf71.pdf?\\_ga=2.53985448.1828725800.1581263826-1226791662.1580068284](https://pdfs.semanticscholar.org/3051/292862bdb650056a0db50aa6c4cc4c93bf71.pdf?_ga=2.53985448.1828725800.1581263826-1226791662.1580068284)
7. Ito R., Aoyagi T., Hori N., Oh'izumi M., Kawase H., Dairaku K. et al. Improvement of snow depth reproduction in Japanese urban areas by the inclusion of a snowpack scheme in the SPUC Model. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 2018; 96(6):511-534. DOI: 10.2151/jmsj.2018-053
8. Korol E., Shushunova N. Multi-criteria evaluation of the organizational and technological options for green roof systems installation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 471:082011. DOI: 10.1088/1757-899X/471/8/082011
9. Korol S., Shushunova N., Shushunova T. Indicators of the resource efficiency development in Russia. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 193:05075. DOI: 10.1051/matecconf/201819305075
10. Korol O., Shushunova N., Lopatkin D., Zanin A., Shushunova T. Application of high-tech solutions in ecodevelopment. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 251:06002. DOI: 10.1051/matecconf/201825106002
11. Gamayunova O., Radaev A., Petrichenko M., Shushunova N. Energy audit and energy efficiency of modular military towns. *E3S Web of Conferences*. 2019; 110:01088. DOI: 10.1051/e3sconf/201911001088
12. Kolobaeva J.S. Ensuring environmental safety of water bodies for urban areas (on the example of Moscow region). *Contemporary Problems of Social Work*. 2016; 4(8):134-141. DOI: 10.17922/2412-5466-2016-2-4-134-141
13. Melkumov V.N., Chuykin S.V., Melnikova A.A. Territorial planning of recreational areas adjacent to a residential development area. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*. 2016; 3(31):80-88.
14. Rossoshanskaya E.A. The quality of labor potential outside large cities. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. 2018; 11(1):164-179. DOI: 10.15838/esc.2018.1.55.11
15. Saveliev M.V., Kiseleva D.A., Bondar N.V., Pigin Yu.A. The principles of the organization of public recreational areas in the city waterfront territories. *Tomsk State University Journal of Cultural Studies and Art History*. 2019; 33:173-188. DOI: 10.17223/22220836/33/15 (rus.).
16. Balova E.K., Volshanik V.V., Suzdaleva A.L. Full-scale study of anthropogenic impact on water quality in the Protva river. *Integration, partnership and innovation in construction science and education: proceedings of the international scientific conference. Moscow, November 16-17, 2016*. Moscow, 2017; 859-866. (rus.).
17. Boykova I.G., Volshanik V.V., Karpova N.B., Pechnikov V.G., Pupyrev E.I. *Operation, reconstruction and protection of water bodies in cities*. Moscow, ASV Publ., 2008; 256. (rus.).
18. Borovkov V.S., Volshanik V.V. Engineering systems of closed-loop pumping water circulation and aeration at ecological reconstruction of urbanized territory hydrosphere. *Water and ecology*. 2016; 3(67):67-82. (rus.).
19. Karelina A.A., Samoylov N.E. Methods of legal regulation in the improvement of coastal areas. *Bulletin of modern research*. 2018; 8-4(23):194-196. (rus.).
20. Neverova-Dziopak Ye.V., Tsvetkova L.I., Makarova S.V., Kiselyov A.V. On the ecological safety of water bodies. *Modern problems of science and education*. 2012; 3:136. (rus.).
21. Rumjantsev V.A., Kryukov L.N. Priority problems of ecological safety of the continental waters of Russia. *Society. Environment. Development*. 2017; 4(45):129-135. (rus.).
22. Grigorieva O.A. Objects of amenity as an example of non-standard estate. *Business, Management and Law*. 2019; 2:59-63. (rus.).
23. Sultanov K.A. Some problematic issues of establishing administrative responsibility for violations of legislation on the improvement of local governments. *Vestnik of Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2019; 3:224-226. DOI: 10.24411/2073-0454-2019-10171 (rus.).
24. Kuzovlev V.V., Grigorieva I.L., Komissarov A.B., Chekmareva E.A. Content of biogenic elements in water of lakes Pesvo and Udomlya. *Organic matter and biogenic elements in inland water bodies*

- and marine waters : proceedings of the VI all-Russian Symposium with international participation. Barnaul, August 28 – September 01, 2017. Barnaul, 2017; 120-123. (rus.).
25. Elpiner L.I. Medical and environmental aspects of the drinking water supply crisis. *Hygiene and sanitation*. 2013; 92(6):38-44. (rus.).
26. Kuzin A.V., Bannikova P.A. Geophysical research sections of the bottom city pond in Ekaterinburg. *Uralian Geological Journal*. 2018; 1(121):44-51. (rus.).
27. Prishutov K.A., Astapov A.Y. Analysis of the territory based on orthophotography for further improvement. *Science and Education*. 2019; 2:88. (rus.).
28. Ostyakova A.V. Engineering and environmental assessment of coastal processes of water bodies (on the example of Uglich reservoir). *Vestnik MGSU [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]*. 2017; 12:10(109):1163-1171. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.10.1163-1171 (rus.).
29. Plyusnina E.V., Ostyakova A.V. Improvement of water objects on the territories of urban Park complexes. *Youth innovations : proceedings of materials of the seminar of young scientists of the XXII International scientific conference. Tashkent, April 18–21, 2019*. Moscow, 2019; 241-246. (rus.).
30. Smetanin V.I., Vlasov V.A. Development of urban water objects. *Environmental engineering*. 2009; 2:22-29. (rus.).
31. Trenkaeva G.V. Improvement of territories of the city by interaction of municipal authority and the population. *Topical Issues in Aeronautics and Astronautics*. 2018; 3:4(14):209-211. (rus.).
32. Tsoupikova N.A., Drozdova A.S. Problems of improvements of small urban water bodies by the example of the Poplavok pond (Kaliningrad). *Journal of Scientific Research Publications*. 2016; 2(34):117-126. (rus.).
33. Yakovtseva-Kistyakovskaya V.A. The main problems of urban improvement. *Bulletin of Scientific Conferences*. 2018; 12-3(40):188-190. (rus.).
34. Shevchenko E.A., Privalenko V.I. *520 years of Nakhabino*. Moscow, Artel-Art, 2002; 139. (rus.).
35. Plyusnina Ye., Ostiakova A. Safe operation and reconstruction of urban water bodies in the park complexes. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 251:06026. DOI: 10.1051/matecconf/201825106026
36. Ovcharov A.T., Kostareva A.S. Engineering and aesthetic solutions of modern development of outdoor lighting. *Vestnik TSUAB. Journal of Construction and Architecture*. 2019; 21(2):134-157. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-2-134-157 (rus.).
37. Rusakovich E.V., Tereshchuk A.O., Khalameida N.V. The project of improvement of the area of the lake shore “Kultuchnoe” with the use of small architectural structures. *Bulletin of the Kamchatka Polytechnic College*. 2018; 18:18-26. (rus.).
38. Komilov F.S., Mirzoev S.H., Akobirzoda F. About technologies of cultivation of an experimental feeding fish-breeding pond. *Problems of science*. 2016; 2(3):9-13. (rus.).

Received November 12, 2019.

Adopted in a revised form on December 4, 2019.

Approved for publication on January 30, 2020.

**BIONOTES:** Aleksandra V. Ostyakova — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, senior researcher; **Water Problem Institute of Russian Academy of Science (WPI RAS)**; 3 Gubkin st., Moscow, 119333, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Housing and Communal Complex; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 5402-0523, Scopus: 6506521721, ORCID: 0000-0002-6030-1679, ResearcherID: P-4060-2014; OstyakovaAV@mgsu.ru;

Ekaterina V. Plyusnina — assistant chief engineer of the project, **ARS-Stroy**; 8 Frunzenskaya nab., Moscow, 119021, Russian Federation; master student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; pluskott@yandex.ru.

# КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ. ДИСКУССИИ И РЕЦЕНЗИИ. ИНФОРМАЦИЯ

## Преподаватели кафедры гидротехнических сооружений МИСИ в Великой Отечественной войне

### Lecturers of the Department of Hydraulic Installations of the Moscow Institute of Civil Engineering named after V.V. Kuibyshev (MISI) in the Great Patriotic War

Е.А. Корчагин

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

В условиях войны вода и гидротехнические сооружения с незапамятных времен используются как средство нападения, защиты и жизнеобеспечения.

Генералиссимус А.В. Суворов писал в работе «Наука побеждать», что победа обеспечивается задолго до непосредственного соприкосновения с противником.

По свидетельству А.В. Платонова<sup>1</sup> в 1943–1945 гг. среднестатистический советский солдат находился в непосредственных боевых действиях порядка 15 % времени, а остальное — это формирования, передислокация, отдых, лечение в госпиталях, обучение на курсах, инженерная подготовка в наступательных и оборонительных районах.

В годы Великой Отечественной войны (ВОВ) перед советскими гидротехниками стояли задачи по использованию воды в качестве средств обороны и наступления; по борьбе с затоплениями территорий и боевых порядков, заболачиванием местности водой и водоснабжению войск, строительству переправ, причальных и судоремонтных сооружений.

Понадобилось оборудовать источники питьевой воды, которые удовлетворяли бы суточную потребность на одного человека от 4,5 до 68 л в сутки, в зависимости от дислокации личного состава.

Для создания непроходимых участков для живой силы и техники необходимо было обеспечивать минимальную толщину разжижения грунта от 0,4 до 1,2 м.

Требовалось найти или оборудовать для преодоления водных преград проходимые броды при скорости течения до 1,5 м/с с глубиной от 0,3 до 1,8 м. При отсутствии таковых возвести подводные переправы невидимые с воздуха.

Для форсирования крупных водных преград следовало изготовить скрытно достаточное количество плавсредств грузоподъемностью до 50 т и бо-

лее, создать замаскированные спусковые дорожки и швартовые устройства, оборудовать съезды.

Чтобы преодолеть заболоченные территории возводили дороги с нагрузкой на 1 п.м. дороги до 15 т.

В морских и озерных условиях надо было возводить причальные сооружения, способные обеспечивать погрузку и выгрузку техники накатом.

При всем при этом работы должны были быть выполнены в директивные сроки и при максимальном использовании местных ресурсов.

Такие сложные гидротехнические задачи, требующие специальных фундаментальных знаний, часто приходилось решать исполнителям, не имевшим достаточной гидротехнической подготовки (военным специалистам, гидрологам, гидрогеологам, геологам). В то время как инженеры-гидротехники зачастую в военных действиях задействовались не по специальности. Это сказывалось на качестве и эффективности работ, приводило к преждевременному выходу из строя гидротехнических объектов и сооружений.

Генерал инженерных войск, профессор, доктор военных наук Д.М. Карбышев (1880–1945 гг.) говорил, что проще гидротехнику ознакомить со спецификой применения его специальности на войне, чем военного специалиста сделать гидротехником.

Опыт ВОВ не утратил актуальности и в нынешних условиях по ликвидации и предотвращению последствий наводнений, участившихся в последнее время.

В годы войны инженеров-гидротехников продолжали готовить объединенные институты, в частности Объединенный Горьковский институт инженеров водного транспорта.

Особая востребованность в инженерах-гидротехниках ощущалась при обороне Ленинграда в силу его высотного расположения. Для этого были созданы специальные гидротехнические роты, которые строили специальные сооружения против затоплений; давали рекомендации и возводили

<sup>1</sup> Платонов А.В. Трагедия Финского залива. М. : Вече, 2010. 464 с.

## **E.A. Корчагин**

фортификационные сооружения при высоком стоянии уровня грунтовых вод, причальные сооружения; ликвидировали подтопления, организованные в районе Сайменского канала.

В Великую Отечественную войну последним призывным возрастом был 1927 г., т.е. реальным участникам ВОВ в 2020 г. в год 75-летней годовщины со Дня Победы в Великой Отечественной войне должно исполнится 93 года.

Многие преподаватели МИСИ были призваны в армию уже будучи дипломированными инженерами и кандидатами наук. И призваны задолго до нападения Германии на СССР в 1939–1940 гг., так как уже тогда требовалось возводить фортификационные сооружения, пункты водоснабжения на западных границах СССР. До 1943 г. образование не давало право на офицерское звание, если не было специального военного образования, однако в звании сержантов профессионалы командовали взводами и ротами.

Сегодня мы с благодарностью и гордостью вспоминаем наших преподавателей, инженеров-гидротехников, внесших значительный вклад в победу нашего народа в Великой Отечественной войне, а после нее отдававших свои знания и опыт подготовке инженеров-гидротехников. Вот их имена: **А.И. Антипов, Н.Н. Аршиневский, Б.Ф. Горюнов, Ф.М. Долгачев, А.М. Корнилов, Л.И. Кудояров, Б.А. Кулыгин, Е.В. Курлович, А.В. Мишустин, В.А. Орлов, Г.А. Паушкин, В.П. Поспелов, Е.И. Почепко, С.М. Слисский, Г.Н. Смирнов, В.С. Эристов.**

В год 75-летия Победы в Великой Отечественной войне исполняется 100 лет со дня рождения Г.Н. Смирнова, 105 лет со дня рождения Б.Ф. Горюнова, 115 лет со дня рождения В.С. Эристова, в следующем году исполнится 105 лет со дня рождения А.И. Антилова, в этом году — 107 лет со дня рождения С.М. Слисского.

Приведем некоторые вехи их воинского пути.

**Александр Иванович Антипов** (1916–1985 гг.). С 1942 по 1945 г. был участником ВОВ. В начале войны прикомандирован к стрелковым частям. Далее по специальности был прикомандирован к инженерным частям. Обеспечивал пути прохода танковых частей через заболоченные территории Прибалтийского фронта. Имел три ранения. Награжден орденами и медалями, в том числе медалью «За отвагу» — самая почетная и уважаемая солдатская награда, которой награждался рядовой, сержантский и младший командный состав.

**Доктор технических наук, профессор Борис Федорович Горюнов** (1915–1982 гг.) родился в г. Севастополе в семье военно-морского инженера-механика крейсера «Ростислав».



*Старший лейтенант Г.Н. Смирнов. 1944 г.*



*Профессор Г.Н. Смирнов*

С 1940 по 1946 г. кандидат наук Б.Ф. Горюнов находился в рядах действующей армии. В должностях начальника гидротехнической группы, гидротехнического взвода, инженера-гидротехника дивизии и укрепленного района принимал активное участие и руководил строительством сооружений военно-оборонного значения в районах Западной Украины, Литвы, бассейна р. Вислы, Ленинграда, Нарвы, Выборга, Таллина, на п-ве Койвисто. На основе практического опыта строительства, восстановления и эксплуатации гидротехнических сооружений военного назначения им были разрабо-

таны рекомендации по рациональным конструкциям водных заграждений, водоотводных устройств, сооружений водоснабжения. Разработаны методики расчетов быстро возводимых гидротехнических сооружений, необходимости гидротехнических сооружений для войск и техники, «живучести» гидротехнических сооружений, устойчивости откосов, водосливов, оптимального числа плотин на реках, подрывных работ в военной гидротехнике. Б.Ф. Горюнов награжден боевыми и трудовыми орденами и медалями, грамотами АН СССР, министерств и ведомств. Имя «Профессор Горюнов» носил морской дноуглубительный корабль голландской постройки дедвейтом 6433 т с портом приписки г. Санкт-Петербург.

Доктор технических наук, профессор **Сергей Митрофанович Слисский** (1913–1986 гг.) с 1940 по 1946 г. служил в Красной Армии, до 1943 г. в Хабаровском военном округе рядовым, командиром взвода, роты, полковым инженером десантной бригады. С 1943 г. на фронте в составе 2-го и 3-го Украинских фронтов освобождал Австрию и Венгрию. После окончания ВОВ С.М. Слисский был включен в Союзную контрольную комиссию в Венгрии и в течение года изучал водное хозяйство Венгрии, состояние гидротехнических сооружений в этой стране, составил об этом обстоятельный доклад. За участие в боевых действиях награжден орденами Отечественной войны и Красной Звезды.

**Виссарион Сардионович Эристов** (1905–1975 гг.). В 1928 г. после окончания Ленинградского института путей сообщения был призван в армию, получив специальность офицера-артиллериста. В артиллерию прослужил с 1941 по 1944 г. В звании полковника артиллерии в 1944 г. уволен в запас. И с этого времени занимался восстановлением народного хозяйства, наращиванием энергетической мощи государства по специальности инженера-гидротехника, полученной в Ленинградском институте путей сообщения. В.С. Эристов награжден многими орденами и медалями.

В преддверии 75-летия Победы в Великой Отечественной войне многое делается для того, чтобы сохранить память о войне и Победе, чтобы новые поколения осознали цену мирной жизни и необходимость беречь ее. Преподаватели и студенты НИУ МГСУ должны хранить память о наших учителях — преподавателях и сотрудниках МИСИ, прошедших долгий, нелегкий и победный путь воина и инженера-гидротехника в годы Великой Отечественной войны.



Рядовой С.М. Слисский



Полковой инженер капитан С.М. Слисский был награжден орденом Красной Звезды

# 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. Фамилия<sup>1</sup>, И.О. Фамилия<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Место работы первого автора; город, страна

<sup>2</sup> 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 (*a*, *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), 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 осмыслиения 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. Шелюшинин 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://nsr-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.nsr-journal.ru/public/journals/1/issues/2017/03/03\\_03\\_2017.pdf](http://www.nsr-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](http://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. Фамилия<sup>1</sup>, И.О. Фамилия<sup>2...</sup>**

<sup>1</sup>Место работы первого автора; город, страна

<sup>2</sup>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. Фамилия<sup>1</sup>, И.О. Фамилия<sup>2...</sup>** на английском языке

<sup>1</sup>Место работы первого автора; город, страна – на английском языке

<sup>2</sup>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 тепломассопереноса в пористом теле // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8. № 3. С. 35–53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3

### REFERENCES

1. Samarin O.D. On calculation of external walls cooling 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.

**B i o n o t e s :** **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

4 0 5 0 1 8 1 0 8 4 5 2 5 2 0 0 0 0 7 9

(ИНН получателя платежа)

(номер счета получателя платежа)

в ГУ Банка России по ЦФО

БИК 0 4 4 5 2 5 0 0 0

(наименование банка получателя платежа)

КБК

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0

ОКТМО

4 5 3 6 5 0 0 0

Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз.  
подписка на июль, август, сентябрь, октябрь,  
ноябрь, декабрь 2020 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

**Извещение****Кассир**

Ф.И.О

плательщика

Адрес

плательщика

Сумма  
платыСумма  
платежа 3 822 руб. 00 коп. услуги руб. коп.Итого руб. коп. « » 20 г.  
С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги  
банка, ознакомлен и согласен.Подпись  
плательщика**УФК по г.Москве (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001**

(наименование получателя платежа)

7 7 1 6 1 0 3 3 9 1

4 0 5 0 1 8 1 0 8 4 5 2 5 2 0 0 0 0 7 9

(ИНН получателя платежа)

(номер счета получателя платежа)

в ГУ Банка России по ЦФО

БИК 0 4 4 5 2 5 0 0 0

(наименование банка получателя платежа)

КБК

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0

ОКТМО

4 5 3 6 5 0 0 0

Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз.  
подписка на июль, август, сентябрь, октябрь,  
ноябрь, декабрь 2020 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика

Адрес

плательщика

Сумма  
платыСумма  
платежа 3 822 руб. 00 коп. услуги руб. коп.Итого руб. коп. « » 20 г.  
С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги  
банка, ознакомлен и согласен.Подпись  
плательщика**Квитанция****Кассир**

Бланк для оплаты полугодовой подписки через редакцию (оплата в банке).

**ВНИМАНИЕ!**Если вы оплатили подписку по форме ПД-4 в банке, то для своевременной отправки вам номеров журнала  
безотлагательно пришлите копию платежного документа и сообщите ваш адрес с почтовым индексом, Ф.И.О. на  
e-mail: [podpiska@mgsu.ru](mailto:podpiska@mgsu.ru).Подписчики — работники НИУ МГСУ могут заполнить бланк на свое имя и обратиться в отдел распрос-  
странения и развития Издательства МИСИ — МГСУ для оформления подписки.Телефон: (495)287-49-14 (вн. 22-47), [podpiska@mgsu.ru](mailto:podpiska@mgsu.ru).Подробную информацию о вариантах подписки на «Вестник МГСУ» для физических и юридических лиц  
смотрите на сайте журнала <http://vestnikmgsu.ru/>

Форма № ПД-4

**УФК по г.Москве (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001**

(наименование получателя платежа)

**7 7 1 6 1 0 3 3 9 1**

(ИНН получателя платежа)

**4 0 5 0 1 8 1 0 8 4 5 2 5 2 0 0 0 0 7 9**

(номер счета получателя платежа)

в **ГУ Банка России по ЦФО**

БИК **0 4 4 5 2 5 0 0 0**

(наименование банка получателя платежа)

КБК

**0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0**

ОКТМО

**4 5 3 6 5 0 0 0**

Вестник МГСУ - 573.34 руб. x 12 экз.  
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь,  
июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2020 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика

Адрес

плательщика

Сумма

платы

за

Сумма платежа **6 880** руб. **00** коп. услуги \_\_\_\_\_ руб. \_\_\_\_\_ коп.

Итого \_\_\_\_\_ руб. \_\_\_\_\_ коп. «\_\_\_\_\_» 20 \_\_\_\_ г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись  
плательщика

Форма № ПД-4

**УФК по г.Москве (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001**

(наименование получателя платежа)

**7 7 1 6 1 0 3 3 9 1**

(ИНН получателя платежа)

**4 0 5 0 1 8 1 0 8 4 5 2 5 2 0 0 0 0 7 9**

(номер счета получателя платежа)

в **ГУ Банка России по ЦФО**

БИК **0 4 4 5 2 5 0 0 0**

(наименование банка получателя платежа)

КБК

**0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0**

ОКТМО

**4 5 3 6 5 0 0 0**

Вестник МГСУ - 573.34 руб. x 12 экз.  
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь,  
июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2020 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика

Адрес

плательщика

Сумма

платы

за

Сумма платежа **6 880** руб. **00** коп. услуги \_\_\_\_\_ руб. \_\_\_\_\_ коп.

Итого \_\_\_\_\_ руб. \_\_\_\_\_ коп. «\_\_\_\_\_» 20 \_\_\_\_ г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись  
плательщика

**Квитанция**

**Кассир**

Бланк для оплаты полугодовой подписки через редакцию (оплата в банке).

**ВНИМАНИЕ!**

Если вы оплатили подписку по форме ПД-4 в банке, то для своевременной отправки вам номеров журнала безотлагательно пришлите копию платежного документа и сообщите ваш адрес с почтовым индексом, Ф.И.О. на e-mail: podpisika@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), podpisika@mgsu.ru.

Подробную информацию о вариантах подписки на «Вестник МГСУ» для физических и юридических лиц смотрите на сайте журнала <http://vestnikmgsu.ru/>

