

ISSN 2541-9110 (Print)

ISSN 2782-4667 (Online)

# ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 4(31), 2024

Воронежский государственный технический университет



*Строительные конструкции,  
здания и сооружения*

*Экология и безопасность  
городской среды*

*Градостроительство.  
Реконструкция, реставрация  
и благоустройство*

*Экономика и организация  
строительства*

*Инженерные системы  
и коммуникации*

*Дорожно-транспортное  
хозяйство  
и строительная техника*

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

**ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО  
и коммунальная инфраструктура**

**№ 4(31), 2024**

**ПО ВОПРОСАМ  
РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ СТАТЕЙ  
ОБРАЩАТЬСЯ В РЕДАКЦИЮ  
НАУЧНОГО ЖУРНАЛА**

**ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО  
и коммунальная инфраструктура**

**Адрес редакции:**

394006, Россия,  
г. Воронеж,  
ул. 20-летия Октября, дом 84, корп. I, ауд. 1326,  
тел.: (473) 271-28-92;  
e-mail: [vstu.gkh@gmail.com](mailto:vstu.gkh@gmail.com)





ISSN 2541-9110 (Print)  
ISSN 2782-4667 (Online)

**Научный журнал  
Воронежского государственного  
технического университета  
Жилищное хозяйство  
и коммунальная  
инфраструктура**



Издается с 2017 года

Учредитель и издатель:  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»**

*Адрес издателя и учредителя:*  
394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Территория распространения – **Российская Федерация,  
зарубежные страны**

*Выходит 4 раза в год*

**Журнал входит в перечень рецензируемых научных изданий,  
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций  
на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук**

**Журнал публикует материалы по следующим разделам:**

- ✓ Строительные конструкции, здания и сооружения
- ✓ Инженерные системы и коммуникации
- ✓ Градостроительство. Реконструкция, реставрация и благоустройство
- ✓ Экология и безопасность городской среды
- ✓ Дорожно-транспортное хозяйство и строительная техника
- ✓ Экономика и организация строительства

Журнал размещен на сайте Научной электронной библиотеки, текст статьи подвергается проверке на уникальность.

Перепечатка материалов журнала без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» 81025.

**Воронеж**



ISSN 2541-9110 (Print)  
ISSN 2782-4667 (Online)

Scientific journal

Voronezh State Technical University



## Housing and Utilities Infrastructure

The journal has been publishing since 2017

Founder and publisher:

**Federal state budgetary educational institution  
«Voronezh State Technical University»**

*Address of the publisher and founder:*

84, 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006

The territory of distribution is **the Russian Federation,  
foreign countries**

*Published 4 times a year*

**The Journal is included in the List of reviewed scientific publications,  
in which the main scientific results of the dissertations for the Degree of Candidate  
of Science and for the Degree of Doctor of Science are to be published**

**Journal publishes materials on the following topics:**

- ✓ Building construction, buildings and structures
- ✓ Engineering systems and services
- ✓ Urban planning. Reconstruction, restoration and landscaping
- ✓ Ecology and safety of the urban environment
- ✓ Road transport and construction equipment
- ✓ Economics and organization of construction

The journal is as well downloaded on the website of the Scientific Electronic Library, the text of the articles is checked for uniqueness.

Reprint of the journal without permission of the publisher is prohibited, citations of the journal when quoting are obligatory.

**Subscription index in the United catalog «Press of Russia» 81025**

**Voronezh**

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**Главный редактор – Яременко Сергей Анатольевич**, декан факультета инженерных систем и сооружений (Воронежский государственный технический университет)

**Сазонов Э. В.**, д-р техн. наук, профессор, зам. главного редактора (Воронежский государственный технический университет)

**Арушанов М. Л.**, д-р физ.-мат. наук, профессор, действительный член Нью-Йоркской Академии наук (Среднеазиатский научно-исследовательский Институт им. В.А. Бугаева, г. Ташкент)

**Аверкин А. Г.**, д-р техн. наук, профессор (Пензенский государственный университет архитектуры и строительства)

**Блех Е. М.**, д-р экон. наук, профессор (Институт отраслевого управления РАНХиГС), г. Москва

**Бодров М. В.**, д-р техн. наук, профессор (Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет)

**Бондарев Б. А.**, д-р техн. наук, профессор (Липецкий государственный технический университет)

**Ветрова Н. М.**, д-р техн. наук, профессор (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь)

**Гришин Б. М.**, д-р техн. наук, профессор (Пензенский государственный университет архитектуры и строительства)

**Зайцев О. Н.**, д-р техн. наук, профессор (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь)

**Зиганшин А. М.**, д-р техн. наук, доцент, зам. директора по научной работе Института строительных технологий и инженерно-экологических систем (Казанский государственный архитектурно-строительный университет)

**Ежов В. С.**, д-р техн. наук, профессор (Юго-Западный государственный университет, г. Курск)

**Касьянов В. Ф.**, д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент жилищной академии РФ, заслуженный работник высшей школы, почетный работник высшего образования, почетный строитель России, почетный строитель Москвы, почетный работник ЖКХ РФ, НИУ МГСУ, г. Москва

**Козлов В. А.**, д-р физ.-мат. наук, профессор (Воронежский государственный технический университет)

**Кононова М. С.**, канд. техн. наук, доцент (Воронежский государственный технический университет)

**Король Е. А.**, д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН, Почетный строитель России, академик РИА, член РОИС (Московский государственный строительный университет)

**Леднев В. И.**, д-р техн. наук, профессор (Тамбовский государственный технический университет)

**Маилян Л. Р.**, д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН, г. Ростов-на-Дону

**Москвичева Е. В.**, д-р техн. наук, профессор (Волгоградский государственный технический университет)

**Опарина Л. А.**, д-р техн. наук, доцент (Ивановский государственный политехнический университет)

**Романова А. И.**, д-р экон. наук, профессор, директор Института дополнительного профессионального образования, член-корреспондент Международной академии инвестиций и экономики строительства, почетный работник ВПО РФ, Казань

**Савин К. Н.**, д-р экон. наук, д-р техн. наук, профессор, почетный работник ЖКХ России, почетный работник Высшего профессионального образования РФ, руководитель направления ЖКХ (Тамбовский государственный технический университет)

**Столбушкин А. Ю.**, д-р техн. наук, профессор (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)

**Уваров В. А.**, д-р техн. наук, профессор (Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова)

**Шibaева М. А.**, д-р экон. наук, профессор (Воронежский государственный технический университет)

**Щукин О. С.**, д-р экон. наук, профессор (Воронежский государственный университет)

**Эвнев В. А.**, д-р техн. наук, профессор, декан инженерно-технологического факультета (Калмыцкий государственный университет, г. Элиста)

*Ответственный секретарь – Жерлыкина Мария Николаевна*, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства (Воронежский государственный технический университет)

*Редакторы:* Кононова М. С., Жерлыкина М. Н.

*Дизайн обложки:* Якубенко А. В. *Фото обложки:* [https://t.me/VSTU\\_today](https://t.me/VSTU_today)

*Редактор перевода:* Козлова В. В.

**Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» 81025.**

Дата выхода в свет 13.12.2024. Усл. печ. л. 13,3. Формат 60×84/8. Тираж 36 экз. Заказ № 291

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 – 69631 от 02.05.2017

выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Цена свободная

**Адрес редакции:** 394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ком. 1326;  
тел. (473) 271-28-92; e-mail: [vstu.gkh@gmail.com](mailto:vstu.gkh@gmail.com).

**Отпечатано:** отдел оперативной полиграфии издательства ВГТУ  
394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84

EDITORIAL BOARD

**Editor-in-Chief – Sergey Anatolevich Yaremenko**, Dean of the Faculty of Engineering systems and structures (Voronezh State Technical University)

**Sazonov E. V.**, Dr. Sc. (Technical), Prof., Deputy Chief Editor (Voronezh State Technical University)

**Arushanov M. L.**, Dr. Sc. (Physics and Mathematics), Prof., Full member of the New-York Academy of Sciences (Central scientific research Institute named after V. A. Bugaev, Tashkent-city)

**Averkin A. G.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Penza State University of architecture and construction)

**Blekh E. M.**, Dr. Sc. (Economics), Prof. (Institute of Sectoral Management, RANEPa), Moscow

**Bodrov M. V.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Nizhny Novgorod State University of Architecture and Construction)

**Bondarev B. A.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Lipetsk State Technical University)

**Vetrova N. M.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Federal State Autonomous educational institution «Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky», Simferopol-city)

**Grishin B. M.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Penza State University of architecture and construction)

**Zaitsev O. N.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Federal State Autonomous educational institution «Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky», Simferopol-city)

**Ziganshin A. M.**, Dr. Sc. (Technical), Associate Prof. (Kazan State University of Architecture and Civil Engineering)

**Ezhov V. S.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (South-West State University)

**Kas'yanov V. F.**, Dr. Sc. (Technical), Prof., corresponding member of the housing Academy of the Russian Federation, honored worker of higher school, honored worker of higher education, honorary Builder of Russia, honorary Builder of Moscow, honorary worker of housing and communal services of the Russian Federation, National research Moscow state University of civil engineering

**Kozlov V. A.**, Dr. Sc. (Physics and Mathematics), Prof. (Voronezh State Technical University)

**Kononova M. S.**, Cand. Sc. (Technical), Associate Prof. (Voronezh State Technical University)

**Korol' E. A.**, Dr. Sc. (Technical), Prof., corresponding member of The Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, honored Builder of Russia, the academician of RIA, member of Moscow State University of Civil Engineering

**Ledenev V. I.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Tambov State Technical University)

**Mailyan L. R.**, Dr. Sc. (Technical), Prof., corresponding member of The Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, the city of Rostov-on-Don

**Moskvicheva E. V.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Volgograd State Technical University)

**Oparina L. A.**, Dr. Sc. (Technical), Associate Prof. (Ivanovo State Polytechnic University)

**Romanova A. I.**, Dr. Sc. (Economics), Prof., The Head of the Institute of Continuing Professional Education, Corresponding Member of International Academy of Investments and Construction Economics, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation (Kazan State University of Architecture and Civil Engineering)

**Savin K. N.**, Dr. Sc. (Economics), Prof., Honorary Worker of Housing and Public Utilities of Russia, Honorary Worker of the Higher Professional Education of the Russian Federation, Head of the Housing and Utilities Sector (Tambov State Technical University)

**Stolboushkin A. Yu.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Siberian State Industrial University, Novokuznetsk-city)

**Uvarov V. A.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov)

**Shibaeva M. A.**, Dr. Sc. (Economics), Prof. (Voronezh State Technical University)

**Schukin O. S.**, Dr. Sc. (Economics), Prof. (Voronezh State University)

**Eview V. A.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Calmic State University, Elista-city)

*Executive Secretary – Mariya Nikolaevna Zherlykina*, Cand. Sc. (Technical),

Associate Professor of the Department of Housing and Communal Services (Voronezh State Technical University)

*Editors:* M. S. Kononova, M. N. Zherlykina

*Cover design:* A. V. Yakubenko *Cover photo:* [https://t.me/VSTU\\_today](https://t.me/VSTU_today)

*Translation editor:* V. V. Kozlova

**Subscription index in the United catalog «Press of Russia» 81025**

Date of publication 13.12.2024. Conventional printed sheets 13,3. Format 60×84/8. Circulation 36 copies. Order 291

Registration certificate ПИ № ФС 77 – 69631 02.05.2017

issued by the Federal service for supervision of communications, information technology and mass communications

Free price

**The address of editorial office:** 84, 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia;  
phone: (473) 271-28-92; e-mail: [vstu.gkh@gmail.com](mailto:vstu.gkh@gmail.com).

**Printed:** department of operative polygraphy in VSTU publishing house  
84, 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia

**СОДЕРЖАНИЕ****СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ***Шмелев Г. Д., Ишков А. Н., Воробьева Ю. А.*

Оценка технического риска по устойчивости на опрокидывание зданий и сооружений.....9

*Поликутин А. Э., Поликутин Д. А.*

Корректировка метода расчета прочности наклонных сечений каутоновых изгибаемых элементов.....18

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ***Аралов Е. С., Михайлов А. А.*

Математическое моделирование тепловых характеристик инфракрасных обогревателей в условиях низких температур.....27

*Китаев Д. Н., Куцыгина О. А.*

Расчет коэффициента сжимаемости природного газа в системах коммунального газоснабжения.....35

*Нсенгийумва Жан Поль, Щербаков В. И.*

Проблемы существующей системы водоснабжения столицы Бурунди г. Бужумбура.....43

*Пурусова И. Ю.*

Причины снижения производительности скважинных насосов в системах водного хозяйства.....51

*Помогаева В. В., Голубова Д. С.*

Гидравлические особенности, определяющие эффективность работы водопроводных сетей в условиях Крайнего Севера.....59

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО***Коростелева Н. В., Бучина В. Б.*

Вертикальное озеленение зданий как инновационный метод благоустройства городских территорий (на примере города Волгограда).....69

*Кононова М. С., Сазонов Э. В., Телюк О. В.*

Концепция реконструкции парка «Новопарк» в городе Нововоронеж.....78

**ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ***Головина Е. И., Соколов Д. А.*

Создание системы категорирования участков воздействия шума от железнодорожного транспорта в практике городского картографирования.....87

*Аишхмина Т. В., Куприенко П. С., Золотухин С. Н.*

Экологические аспекты применения вторичных строительных материалов.....94

*Акимов Л. М., Акимов Е. Л.*

Исследование устойчивости атмосферы территории Центральной части Русской равнины по параметру Паскуилла.....105

**ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....113**



## CONTENTS

### BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

*Shmelev G. D., Ishkov A. N., Vorobieva Y. A.*

Assessment of technical risk for the rollover stability in buildings and structures.....9

*Polikutin A. E., Polikutin D. A.*

Modification of design method for the strength of inclined sections  
of rubcon bending elements.....18

### ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES

*Aralov E. S., Mikhailov A. A.*

Mathematical modeling of thermal characteristics of infrared heaters  
in low temperature conditions.....27

*Kitaev D. N., Kutsygina O. A.*

Calculation of the compressibility coefficient of natural gas in municipal  
gas supply systems.....35

*Nsengiyumva John Paul, Shcherbakov V. I.*

Problems of the current water supply system in Bujumbura city, the capital of Burundi.....43

*Purusova I. Yu.*

Reasons of decrease in productivity of well pumps in water management systems.....51

*Pomogaeva V. V., Golubova D. S.*

Hydraulic characteristics determining the efficiency of water supply  
networks in the Far North.....59

### URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

*Korosteleva N. V., Buchina V. B.*

Vertical landscaping of buildings as an innovative method of urban areas improvement  
(on the example of the city of Volgograd).....69

*Kononova M. S., Sazonov E. V., Telyuk O. V.*

The concept of reconstruction of the Novopark park in the city of Novovoronezh.....78

### ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

*Golovina E. I., Sokolov D. A.*

Creating a site categorization system effects of noise from railway  
transport in the practice of urban mapping.....87

*Ashikhmina T. V., Kuprienko P. S., Zolotukhin S. N.*

Environmental aspects of the use of secondary building materials.....94

*Akimov L. M., Akimov E. L.*

Analysis of the atmosphere stability of the territory in the Central part  
of the Russian plain according to the Pasquill parameter.....105

**WRITING RULES AND GUIDELINES.....113**

## **СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ** **BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES**

DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.001

УДК 624.07: 001.5

### **ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО РИСКА ПО УСТОЙЧИВОСТИ НА ОПРОКИДЫВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

**Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков, Ю. А. Воробьева**

---

Шмелев Геннадий Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-52-49; e-mail: shmelev8@mail.ru

Ишков Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-52-49; e-mail: ishkov1.78@mail.ru

Воробьева Юлия Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-52-49; e-mail: cccp38@yandex.ru

---

В статье рассмотрены и проанализированы требования действующих нормативно-технических документов, регламентирующие вопросы, связанные с расчетом здания (сооружения) на устойчивость при опрокидывании, с точки зрения обеспечения механической безопасности здания (сооружения). Дополнительно проведен анализ имеющейся научной литературы и публикаций последних лет, авторов, занимающихся вопросами расчета и оценки риска возникновения аварий на зданиях и сооружениях, в том числе и при возникновении в высотных сооружениях кренов и их развития. На основе проведенного анализа требований различных нормативно-технических документов из перечня документов, применяемых на добровольной основе, составлен перечень общих требований, предъявляемых как к самим зданиям (сооружениям), так и к расчету устойчивости положения на опрокидывание. С использованием простейшей модели здания (сооружения) и действующих на эту модель нагрузок и воздействий, включая снеговые и ветровые, определены в общем виде момент опрокидывания и удерживающий момент. С учетом значений приемлемого и недопустимого риска аварии здания (сооружения), по ГОСТ 31937-2011, разработан перечень условий и допущений для вычисления значений технического риска аварии по устойчивости на опрокидывание. На основании полученных моделей развития риска аварии по устойчивости на опрокидывание делаются выводы об обеспеченности механической безопасности зданий (сооружений).

**Ключевые слова:** устойчивость положения; момент удерживающий; момент опрокидывающий; здание; сооружение; опрокидывание; крен; точка опрокидывания.

В ряд законодательных актов (в частности Федеральный закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений») и нормативно-технических документов (в частности ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния») введено понятие «механическая безопасность зданий (сооружений)». Определение, приведенное в Федеральном законе от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», показывает, что под этим понятием следует понимать «состояние строительных конструкций и основания здания или сооружения, при котором отсутствует

недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений вследствие разрушения или потери устойчивости здания, сооружения или их части». Статья 7 Федерального закона от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» дает следующую расшифровку понятия «механическая безопасность зданий (сооружений)» – «строительные конструкции и основание здания или сооружения должны обладать такой прочностью и устойчивостью, чтобы в процессе строительства и эксплуатации не возникало угрозы причинения вреда жизни или здоровью людей, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений в результате: разрушения отдельных несущих строительных конструкций или их частей; разрушения всего здания, сооружения или их части; деформации недопустимой величины строительных конструкций, основания здания или сооружения и геологических массивов прилегающей территории; повреждения части здания или сооружения, сетей инженерно-технического обеспечения или систем инженерно-технического обеспечения в результате деформации, перемещений либо потери устойчивости несущих строительных конструкций, в том числе отклонений от вертикальности».

При этом, ни в действующих нормативно-технических документах, ни в последних научных статьях ряда авторов, занимающихся проблемами устойчивости зданий и сооружений [1...5], нет описания методики оценки риска возникновения аварийного технического состояния от потери устойчивости несущих строительных конструкций и отклонений зданий (сооружений) от вертикальности. Следует отметить, что рядом авторов вопросы оценки риска аварийности зданий, рассматриваются [6...10], но без учета вопросов, связанных с потерей устойчивости и вероятностью опрокидывания зданий и инженерных сооружений, как например в работах [11...14].

В настоящей работе авторами сделана попытка подойти к решению задачи оценки риска достижения аварийного технического состояния зданий и сооружений при их вероятном опрокидывании (из расчета по устойчивости на опрокидывание).

Изучение применяемой на добровольной основе нормативно-технической документации (Перечень документов области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», утвержденный приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 июня 2023 г. № 1247) позволило определить основные критерии подхода к проверке устойчивости положения на опрокидывание, рекомендуемые при проектировании современных зданий и сооружений. Обобщая весь объем полученной в ходе анализа информации можно выделить следующие положения:

✓ при расчете устойчивости положения (опрокидывание и сдвиг) конструктивные системы следует рассматривать по СП 430.1325800.2018 «Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования» как жесткое недеформированное тело;

✓ расчет конструктивной системы на опрокидывание выполняют на действие опрокидывающего (от горизонтальной нагрузки) и удерживающего (от вертикальной нагрузки) моментов (по СП 430.1325800.2018 Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования и СП 381.1325800.2018 Сооружения подпорные. Правила проектирования);

✓ опрокидывающий и удерживающий моменты определяются с учетом всех вероятных нагрузок и воздействий, действующих на сооружение, при этом по СП 430.1325800.2018 «Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования» следует учитывать наиболее неблагоприятные значения коэффициентов надежности по нагрузке;

- ✓ значения удерживающего и опрокидывающего моментов определяют относительно крайней точки фундамента (по СП 430.1325800.2018 Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования), которую принято называть «точкой опрокидывания»;
- ✓ при расчете на опрокидывание современных зданий выполненных в монолитном конструктивном исполнении удерживающий момент должен превышать опрокидывающий момент с коэффициентом 1,5 (по СП 430.1325800.2018 Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования);
- ✓ при расчете инженерных сооружений на опрокидывание должен учитываться коэффициент надежности по назначению сооружения в зависимости от геотехнической категории 1, 2 или 3, принимаемый по СП 381.1325800.2018 «Сооружения подпорные. Правила проектирования» соответственно равный 1.1, 1.15 и 1.2. Геотехническая категория назначается в соответствии с рекомендациями СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» и СП 248.1325800.2016 «Сооружения подземные. Правила проектирования»;
- ✓ предельно допустимые крены и относительные разности осадок фундаментов нового строительства, характеризующие допустимые отклонения зданий и сооружений от вертикали, представлены в СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений»;
- ✓ предельные значения перемещений верха зданий в горизонтальной плоскости определяются в соответствии с СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»;
- ✓ предельно допустимые крены и отклонения от вертикали для высотных промышленных сооружений (мачты, трубы, башни и т.п.) приведены в СП 375.1325800.2017 «Трубы промышленные дымовые» и СП 43.13330.2012 «Сооружения промышленных предприятий», а для отдельных строительных конструкций зданий и сооружений – в СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции».

Расчетная формула проверки устойчивости здания или сооружения на опрокидывание (по СП 381.1325800.2018 «Сооружения подпорные. Правила проектирования») в общем виде имеет следующий вид:

$$M_{уд} \geq \gamma_n \times M_{оп}, \quad (1)$$

где  $M_{уд}$  – удерживающий момент (от вертикальной нагрузки);  $\gamma_n$  – коэффициент надежности по назначению здания или сооружения;  $M_{оп}$  – опрокидывающий момент (от горизонтальных нагрузок).

На рисунке показана примерная схема приложения нагрузок для выполнения расчета на опрокидывание здания или сооружения.

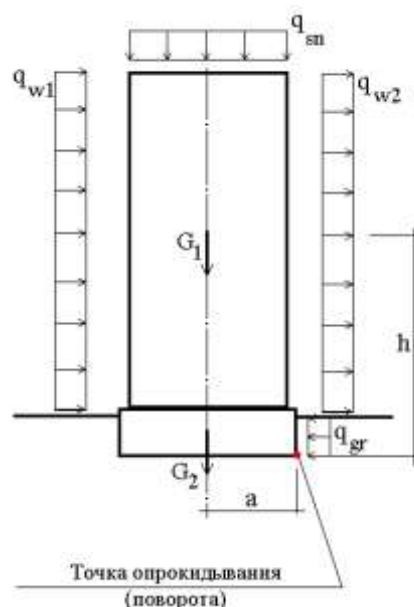


Схема для расчета на опрокидывание здания (сооружения)

На рисунке приняты следующие обозначения:  $G_1$  – приведенная вертикальная нагрузка от собственного веса надземной части здания (сооружения);  $G_2$  – приведенная вертикальная нагрузка от собственного веса подземной части здания (сооружения);  $q_{w1}$  – ветровая нагрузка на здание (сооружение) с наветренной стороны;  $q_{w2}$  – ветровая нагрузка на здание (сооружение) с подветренной стороны;  $q_{sn}$  – снеговая нагрузка на крышу здания (сооружения);  $g_{gr}$  – горизонтальное давление (сопротивление) грунта на подземную часть здания;  $a$  – плечо приложения вертикальных нагрузок от собственного веса здания и фундамента;  $h$  – плечо приложения равнодействующей силы от горизонтальных (ветровых) нагрузок.

Ветровая нагрузка на здание (сооружение) на рисунке представлена в упрощенном виде (прямоугольная эпюра на всю высоту здания вместо треугольной) для упрощения понимания сути расчета.

В соответствии с изображением, приведенным на рис., удерживающий момент может быть представлен в следующем виде:

$$M_{y0} = G_1 \cdot a + G_2 \cdot a + g_{sn} \cdot a \cdot b + g_{gr} \cdot b \cdot h_f, \quad (2)$$

где  $b$  – ширина (длина) объекта из плоскости рисунка;  $h_f$  – высота фундамента (подземной части сооружения). При незначительном заглублении фундамента, по сравнению с размерами здания (сооружения) по высоте, удерживающей способностью грунта обратной засыпки пазух котлована от  $g_{gr}$  можно ввиду ее малости пренебречь.

Опрокидывающий момент в этом случае может быть представлен в виде следующего выражения:

$$M_{оп} = q_{w1} \cdot b \cdot h + q_{w2} \cdot b \cdot h = (q_{w1} + q_{w2}) \cdot b \cdot h. \quad (3)$$

В случае если здание (сооружение) уже имеет некоторый крен, зафиксированный инструментально, центральная ось здания (сооружения) получает наклон от вертикали и плечи для приведенной вертикальной нагрузки от собственного веса надземной части здания (сооружения), а так же для приведенной вертикальной нагрузки от собственного веса подземной части здания (сооружения) изменятся в сторону уменьшения. Расчет плеч для приведенных выше нагрузок осуществляется как расчет основания прямоугольного треугольника.

При значительных кренах зданий (сооружений), особенно сооружений башенного типа с единым фундаментом рекомендуется дополнительно контролировать напряжения в грунте основания под точкой опрокидывания (поворота). В соответствии с п. 5.6.24 а) СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83» увеличенное значение под подошвой фундамента не должно превышать  $1,2R_g$ , где  $R_g$  – расчетное сопротивление грунта.

Расчет риска наступления аварийного технического состояния по устойчивости на опрокидывание здания (сооружения) следует выполнять в соответствии с рекомендациями, изложенными в приложении Ф к ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». В частности, при оценке риска должно выполняться условие:

$$R \leq [R], \quad (4)$$

где  $R$  – риск нанесения зданию (сооружению) ущерба определенного уровня при опасном воздействии данной интенсивности за срок службы объекта;  $[R]$  – допустимый уровень риска, соответствующий фоновому уровню риска для Российской Федерации.

При этом в приложении Ф к ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» выделяют следующие значения уровней риска:

✓ риск ниже фонового уровня, равного  $5 \cdot 10^{-6}$ , является приемлемым (не требует мероприятий по его снижению);

✓ риск свыше  $5 \cdot 10^{-5}$  – является недопустимым (требует принятия срочной системы мер для его снижения);

✓ риск в интервале от  $5 \cdot 10^{-6}$  до  $5 \cdot 10^{-5}$  – для снижения уровня риска требуется разработка системы мер, полнота и сроки реализации которой устанавливаются с учетом экономических и социальных аспектов.

Для получения зависимости технического риска от потери устойчивости на опрокидывание, для последующего определения степени риска аварии на объекте от величины крена здания (сооружения) необходимо выполнить следующее:

✓ сопоставить значению предельно допустимого крена сооружения (предельно допустимой разницы осадок, предельных значений перемещений верха зданий в горизонтальной плоскости и т.п.) значению фонового уровня риска, так как указанные величины кренов допускаются по действующим нормативно-техническим документам для объектов нового строительства, т.е. риск появления таких кренов (предельно допустимой разницы осадок, предельные значения перемещений верха зданий в горизонтальной плоскости и т.п.) является приемлемым с точки зрения риска;

✓ определить на основании расчета по устойчивости на опрокидывание предельное отклонение здания (сооружения) от вертикальной оси, которому будет соответствовать предельная устойчивость здания по формуле (1), при равенстве левой и правой частей;

✓ сопоставить полученный на предыдущем шаге крен здания (сооружения) со значением недопустимого риска, так как при предельном крене и его дальнейшем росте наступает недопустимый риск возникновения аварийной ситуации по обеспечению устойчивости на опрокидывание здания (сооружения);

✓ дополнительно вводим допущение, что первоначально построенное здание не могло иметь крена, соответственно риск на опрокидывание сооружения был равен «нулю».

Основываясь на полученных парах чисел, на основании описанной выше методики, можно построить графическую и математическую зависимость развития риска наступления аварийного технического состояния объекта, исходя из условий развития крена здания (сооружения), по которым, зная фактическое значение крена в любой момент времени, можно будет определить риск достижения аварийного состояния исследуемого объекта. Примеры графических и математических моделей оценки риска достижения аварийного технического состояния приведены в ранее опубликованных работах авторов [15...18].

### **Заключение.**

В ходе проведенного исследования термина «механическая безопасность здания (сооружения)» и его определения предложена методика расчета и обоснования получения графической и математической зависимостей риска достижения аварийного состояния объекта от устойчивости на опрокидывание для модельного сооружения.

Выполненный для условного модельного сооружения анализ устойчивости на опрокидывание позволил определить математические зависимости для определения значений крена, при котором устойчивость модельного сооружения обеспечена, т. е. на пределе удовлетворяет требованию, описанному формулой (1).

По величине измеренного крена и соответствующего ему уровню риска аварийного технического состояния можно сделать вывод о возможности дальнейшей эксплуатации любого исследованного по предложенной методике объекта и обосновывать механическую безопасность этого объекта.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Смирнова, О. В.** Общие принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений / О. В. Смирнова, К. В. Авдеев, Н. А. Полянский // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 8(104). – С. 508-519..

2. **Шмелев, Г. Д.** Оценка конструкционной безопасности строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, М. И. Петруша // Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры МГСУ (выпуск 4): научные труды Международной молодежной конференции "Оценка рисков и безопасность в строительстве. Новое качество и надежность строительных материалов и конструкций на основе высоких технологий". – Москва: МГСУ. – 2012. – С. 206-209.
3. **Маркус, В. Я.** Устойчивость сооружений против опрокидывания при 9-10 балльных землетрясениях / В. Я. Маркус // Строительная механика и расчет сооружений. – 2009. – № 6(227). – С. 7-11.
4. **Леонтьевская, Е. Д.** Анализ способов обеспечения устойчивости зданий и сооружений / Е. Д. Леонтьевская, О. А. Кочет, Е. Ю. Пчелинцева // В сборнике: Избранные доклады 61-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. – 2015. – С. 267-276.
5. **Шмелев, Г. Д.** Оценка риска аварии на объекте «Городская канализационная насосная станция» / Г. Д. Шмелев, А. В. Жукова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 3(10). – С. 102-108.
6. **Иноземцева, О. В.** Критерии устойчивости против опрокидывания в практике проектирования высотных зданий / О. В. Иноземцева, В. К. Иноземцев, Г. Р. Муртазина // Эксперт: теория и практика. – 2021. – № 2(11). – С. 9-23.
7. **Муртазина, Г. Р.** Устойчивость высотных объектов против опрокидывания с учетом геометрической и конструктивной нелинейности / Г. Р. Муртазина // Эксперт: теория и практика. – 2021. – № 3 (12). – С. 20-25.
8. **Готина, Д. Н.** Проблема прогрессирующего обрушения многоэтажных зданий / Д. Н. Готина, Ю. Г. Ткаченко // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – 2012. – Т. 2. – С. 171-177.
9. **Корнева, Е. О.** Оценка устойчивости высотных зданий / Е. О. Корнева, С. А. Камышанская, Э. Ф. Райманов // В сборнике: Инструменты и механизмы современного инновационного развития. Сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 128-131.
10. **Кравченко, Г. М.** Оценка устойчивости высотных зданий / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, В. В. Крикунов // В сборнике: Проблемы, перспективы и направления инновационного развития науки. Сборник статей Международной научно-практической конференции: в 3 частях. – 2017. – С. 56-59.
11. **Саусь, А. А.** Оценка устойчивости высотных зданий / А. А. Саусь, В. В. Оплачко, В. В. Панченко // В сборнике: Научно-технический прогресс как фактор развития современного общества. Сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 86-89.
12. **Шмелев, Г. Д.** Методика оценки технического состояния, прогнозирования и обоснования остаточного срока службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, М. С. Кононова, Н. А. Малева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 2(9). – С. 34-42.
13. **Корнева, Е. О.** Расчет устойчивости высотных зданий / Е. О. Корнева, С. А. Камышанская, И. Ю. Бессонова, Е. А. Теплякова // В сборнике: Проблемы и перспективы в международном трансфере инновационных технологий. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 28-30.
14. **Иванов, В. И.** Техническая диагностика и оценка риска аварии / В. И. Иванов, Б. В. Туробов // Контроль. Диагностика. – 2016. – № 5. – С. 19-25.
15. **Шмелев, Г. Д.** Методика оценки риска при прогнозировании остаточного срока службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев // Академический вестник УралНИИ-проект РААСН. – 2013. – № 3. – С. 81-84.

16. **Федотова, М. И.** Прогноз риска аварии несущих строительных конструкций на основе расчета снижения несущей способности / М. И. Федотова, Г. Д. Шмелев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 2(21). – С. 30-37.

17. **Федотова, М. И.** Оценка риска обрушения здания или его части по величинам контролируемых кренов и осадок / М. И. Федотова, Г. Д. Шмелев, А. В. Жукова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 1 (24). – С. 9-17.

18. **Шмелев, Г. Д.** Теоретические предпосылки оценки технического риска для строительных конструкций эксплуатируемых объектов / Г. Д. Шмелев, Э. В. Сазонов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 3 (26). – С. 9-16.

Поступила в редакцию 14 ноября 2024

## ASSESSMENT OF TECHNICAL RISK FOR THE ROLLOVER STABILITY IN BUILDINGS AND STRUCTURES

G. D. Shmelev, A. N. Ishkov, Y. A. Vorobieva

---

Gennady Dmitrievich Shmelev, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Public Utilities, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(952)955-12-96; e-mail: shmelev8@mail.ru

Aleksey Nikolaevich Ishkov, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Housing and Public Utilities, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: ishkov1.78@mail.ru

Yulia Alexandrovna Vorobieva, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Department of Housing and Public Utilities, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-52-49; e-mail: cccp38@yandex.ru

---

The article considers and analyzes the requirements of the current regulatory and technical documents regulating issues related to the calculation of a building (structure) for rollover stability, from the point of view of ensuring the mechanical safety of the building (structure). Additionally, we analyzed the available scientific literature and publications of recent years, dealing with the calculation and assessment of the risk of accidents on buildings and structures, including the occurrence of rolls in high-rise structures and their development. Based on the analysis of the requirements of various regulatory and technical documents from the list of documents used on a voluntary basis, we have compiled a list of general requirements for both buildings (structures) and for calculating the stability of the rollover position. Using the simplest model of a building (structure) as well as the loads and influences acting on this model, including snow and wind, we determined the rollover moment and the holding moment. Taking into account the values of the acceptable and unacceptable risk of an accident of a building (structure), according to GOST 31937-2011, we have developed a list of conditions and assumptions for calculating the values of the technical risk of an accident for rollover stability. Based on the obtained models of accident risk development in terms of rollover stability, we drew conclusions about the provision of mechanical safety of buildings (structures).

**Keywords:** stability of position; holding moment; rollover moment; building; structure; rollover; roll; rollover point.

### REFERENCES

1. **Smirnova O. V., Avdeev K. V., Polyansky N. A.** *General principles of risk assessment in the design of buildings and structures.* Engineering Bulletin of the Don. 2023. No. 8(104). Pp. 508-519. (in Russian)

2. **Shmelev G. D., Petrusha M. I.** *Assessment of structural safety of building structures.* Collection of scientific papers of the Institute of Construction and Architecture of MGSU (issue



- 4): scientific papers of the International Youth Conference Risk assessment and safety in construction. New quality and reliability of building materials and structures based on high technologies. Moscow, MGSU. 2012. Pp. 206-209. (in Russian)
3. **Markus V. Ya.** *Stability of structures against overturning in 9-10 point earthquakes.* Construction mechanics and calculation of structures. 2009. No. 6(227). Pp. 7-11. (in Russian)
4. **Leontievskaya E. D., Kochet O. A., Pchelintseva E. Y.** *Analysis of ways to ensure the stability of buildings and structures.* In the collection: Selected documents of the 61st University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists. 2015. Pp. 267-276. (in Russian)
5. **Shmelev G. D., Zhukova A.V.** *Assessment of the risk of an accident at the Urban Sewage pumping Station facility.* Housing and communal infrastructure. 2019. No. 3(10). Pp. 102-108. (in Russian)
6. **Inozemtseva O. V., Inozemtsev V. K., Murtazina G. R.** *Criteria of stability against overturning in the practice of designing high-rise buildings.* Expert: theory and practice. 2021. № 2 (11). Pp. 9-23. (in Russian)
7. **Murtazina G. R.** *Stability of high-rise objects against overturning, taking into account geometric and constructive nonlinearity.* Expert: theory and practice. 2021. No. 3 (12). Pp. 20-25. (in Russian)
8. **Gotina D. N., Tkachenko Yu. G.** *The problem of progressive collapse of multi-storey buildings.* New ideas of the new century: materials of the international scientific conference of the Federal State Pedagogical University. 2012. Vol. 2. Pp. 171-177. (in Russian)
9. **Korneva E. O., Kamyshanskaya S. A., Raimanov E. F.** *Assessment of the stability of high-rise buildings.* In the collection: Tools and mechanisms of modern innovative development. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. 2018. Pp. 128-131. (in Russian)
10. **Kravchenko G. M., Trufanova E. V., Krikunov V. V.** *Assessment of the stability of high-rise buildings.* In the collection: Problems, prospects and directions of innovative development of science. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference: in 3 parts. 2017. Pp. 56-59. (in Russian)
11. **Saus A. A., Plachko V. V., Panchenko V. V.** *Assessment of the stability of high-rise buildings.* In the collection: Scientific and technological progress as a factor in the development of modern society. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. 2019. Pp. 86-89. (in Russian)
12. **Shmelev G. D., Konova M. S., Maleva N. A.** *Methodology for assessing the technical condition, forecasting and justification of the remaining service life of building structures.* Housing and communal infrastructure. 2019. No. 2(9). Pp. 34-42. (in Russian)
13. **Korneva E. O., Kamyanskaya S. A., Bessonova I. Y., Teplyakova E. A.** *Calculation of the stability of high-rise buildings.* In the collection: Problems and prospects in the international transfer of innovative technologies. Collection of articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference. 2019. Pp. 28-30. (in Russian)
14. **Ivanov V. I., Turobov B. V.** *Technical diagnostics and assessment of accident risk.* Control. Diagnostics. 2016. No. 5. Pp. 19-25. (in Russian)
15. **Shmelev G. D.** *The methodology of risk assessment in predicting the remaining service life of building structures.* Academic Bulletin of UralNII-the project RAASN. 2013. No. 3. Pp. 81-84. (in Russian)
16. **Fedotova M. I., Shmelev G. D.** *Prognosis of the risk of an accident of load-bearing building structures based on the calculation of a decrease in load-bearing capacity.* Housing and communal infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 30-37. (in Russian)
17. **Fedotova M. I., Shmelev G. D., Zhukova A.V.** *Assessment of the risk of collapse of a building or its part by the values of controlled rolls and sediments.* Housing and communal infrastructure. 2023. No. 1(24). Pp. 9-17. (in Russian)

18. **Shmelev G. D., Sazonov E. V.** *Theoretical prerequisites for assessing technical risk for construction structures of operated facilities.* Housing and communal infrastructure. 2023. No. 3(26). Pp. 9-16. (in Russian)

*Received 14 November 2024*

**Для цитирования:**

**Шмелев, Г. Д.** Оценка технического риска по устойчивости на опрокидывание зданий и сооружений / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков, Ю. А. Воробьева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 9-17. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.001.

**FOR CITATION:**

**Shmelev G. D., Ishkov A. N., Vorobieva Y. A.** *Assessment of technical risk for the rollover stability in buildings and structures.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 9-17. DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.001. ( in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.002

УДК 691.342

## КОРРЕКТИРОВКА МЕТОДА РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ КАУТОНОВЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А. Э. Поликутин, Д. А. Поликутин

---

Поликутин Алексей Эдуардович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю. М. Борисова, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(910)349-76-53; e-mail: a.pl@mail.ru  
Поликутин Дмитрий Алексеевич, студент кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени проф. Ю. М. Борисова, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(910)040-61-63; e-mail: polikutin2006@mail.ru

---

При эксплуатации строительных конструкций из традиционных материалов (железобетон, сталь) на промышленных предприятиях в условиях действия агрессивных сред необходимо либо защищать конструкции специальными покрытиями (регулярно их восстанавливая), либо периодически выполнять капитальный ремонт, направленный на восстановление несущей способности и эксплуатационных характеристик конструкций. Указанного выше недостатка лишены химически стойкие полимербетоны, одним из которых является каучуковый бетон (каутон), обладающий (по сравнению с другими видами полимербетонов) повышенными прочностными показателями и практически универсальной химической стойкостью. В настоящий момент только частично проведены исследования каутона как материала для строительных конструкций с решенными вопросами расчета отдельных элементов. Например, не до конца решен вопрос расчета прочности наклонных сечений изгибаемых элементов прямоугольного поперечного сечения из каутона. В статье приведены результаты корректировки метода расчета прочности наклонных сечений изгибаемых элементов строительных конструкций, выполненных из каучукового бетона (каутона) на основе проведенных экспериментальных исследований указанных элементов. Рассмотрены изгибаемые элементы из каутона, армированные продольной арматурой, а также с поперечным армированием и без него. В расчетных зависимостях выполнен непосредственный учет величины пролета среза, а также учтена фактическая степень влияния продольного армирования. В результате корректировки отклонение расчетной прочности наклонных сечений каутоновых балок от экспериментальных значений составило в среднем 2,5 %.

**Ключевые слова:** изгибаемый элемент; наклонные сечения; пролет среза; каучуковый бетон; каутон.

Эксплуатация строительных конструкций промышленных предприятий, в технологической цепочке которых присутствуют агрессивные среды, предполагает использование различных защитных покрытий с целью сохранности от коррозии традиционных строительных материалов, как правило таких, как сталь и железобетон. Такие защитные покрытия необходимо регулярно восстанавливать, чтобы они обеспечивали свои функции (что весьма затратно). В случае отсутствия защитных покрытий или нерегулярного ухода за ними, при воздействии агрессивной среды строительные конструкции интенсивно теряют долговечность, планомерно разрушаясь (рис. 1).

Чтобы исключить или свести к минимуму указанные выше явления, возможно использование в качестве материалов строительных конструкций на таких предприятиях различных видов полимербетонов, которые в значительной степени повышают долговечность конструкций в виду их стойкости к воздействиям агрессивных сред. К тому же использование полимербетонов исключает необходимость применения защитных коррозионностойких покрытий. В результате использования полимербетонов повышается долго-

© Поликутин А. Э., Поликутин Д. А., 2024

вечность конструкций и одновременно снижается финансовая нагрузка на их регулярные восстановительные мероприятия.



Рис. 1. Повреждения строительных конструкций, вызванные коррозией, вследствие отсутствия защитных покрытий и регулярных капитальных ремонтов:  
а – железобетонные конструкции; б – стальные конструкции

По различным причинам промышленное производство смол, традиционно используемых при получении полимербетонов, в России значительно сократилось. Те, которые производятся за пределами государства, имеют слишком высокую стоимость.

С целью устранения указанных выше проблем в Воронежском государственном техническом университете (ВГТУ) разработан строительный материал на основе синтетического жидкого каучука, который выпускается местным заводом «Воронежский синтетический каучук» – каучуковый бетон (каутон) [1, 2, 3]. Каутон обладает повышенной прочностью (по сравнению с цементным бетоном) и не только в абсолютных значениях, но и отношение прочности на растяжение к прочности на сжатие у него выше (чем у традиционно применяемого цементного бетона), что приводит к более интенсивному включению в работу растянутой зоны изгибаемого элемента. Кроме того, каутон имеет практически универсальную химическую стойкость [4].

На данный момент частично или полностью выполнены исследования по сжатым каутоновым элементам [5], по изгибаемым различных форм поперечного сечения [6, 7], а также по слоистым каутоно-бетонным изгибаемым элементам [8, 9]. Состав каутона включает в себя следующие компоненты: жидкий каучук, техническую серу, оксид цинка, окись кальция, тетраметилтиурамдисульфид (Тиурам, ТМТД), золу-унос ТЭЦ (что в дополнение позволяет утилизировать промышленные отходы), песок, щебень.

Основные характеристики каутона в зависимости от количественного состава компонентов имеют значения, представленные в таблице.

Благодаря высокой химической стойкости каутона, строительные конструкции, выполненные из данного материала, не требуют восстановительных мероприятий (с эконо-

мией значительных финансовых средств), связанных с частыми и регулярными ремонтами вследствие воздействия на конструкции агрессивной окружающей среды.

Основные характеристики каутона

| Наименование                  | Значение        |
|-------------------------------|-----------------|
| Прочность при сжатии, МПа     | 70...110        |
| Прочность при растяжении, МПа | 10...25         |
| Модуль упругости, МПа         | 20 000...35 000 |
| Коэффициент Пуассона          | 0,2...0,3       |

Однако, существующие методы расчета, как правило, разработаны для конструкций, выполненных из железобетона. В случае с полимербетонными конструкциями методы расчета существуют для таких полимербетонов, как фурфуролацетоновый, полиэфирный, эпоксидный и методы разработаны на базе экспериментальных исследований с учетом физико-механических свойств соответствующих материалов. Таким образом, такие методы расчета без дополнительных исследований нельзя распространять на другие конструкции, в том числе, из каутона. Это же относится и к расчетам наклонных сечений изгибаемых элементов, в том числе и по прочности.

С целью обеспечения возможности расчета прочности наклонных сечений изгибаемых элементов строительных конструкций, выполненных из каутона и учета особенностей данного материала, были проведены экспериментальные исследования [10], включая испытания опытных образцов-балок, изготовленных из каутона, на изгиб до потери прочности наклонных сечений.

Параметры экспериментальных образцов-балок приняты следующими: размеры поперечного сечения 60×120 мм, длина 1400 мм, расчетный пролет 1200 мм. Продольное армирование – 2 стержня диаметром 12 мм (такое количество принято с тем расчетом, чтобы исключить разрушение по нормальным сечениям). Поперечное армирование – стержни диаметром 5 мм с шагом: 50 мм (балки серии А); 30 мм (балки серии Б); без поперечной арматуры (балки серии В).

Загружение балок производили двумя равными сосредоточенными силами, расположенными на одинаковых расстояниях от опор (пролет среза). Нагрузка на балки последовательно возрастала до разрушения по наклонным сечениям. Данная схема загрузки является неблагоприятной для разрушения по наклонным сечениям.

Балки испытывали со следующими значениями пролетами среза (расстояние от опоры до сосредоточенной силы): 120, 180, 240, 300 и 360 мм (при этом значения относительного пролета среза  $a/h$  составляли: 1; 1,5; 2; 2,5 и 3). Схемы загрузки балок и схемы их армирования приведены на рис. 2.

Расчет наклонных сечений испытанных каутоновых балок выполнен по скорректированным (адаптированным к каутону) расчетным зависимостям НИИЖБ [4] как наиболее перспективным и обладающим рядом преимуществ перед другими методами. Адаптированные применительно к каутону расчетные зависимости, а именно поперечные усилия, воспринимаемые каутоном над и под вершиной наклонной трещины (которая в свою очередь учитывает, в том числе, нагельные силы в продольное армиature и силы зацепления по берегам наклонной трещины), имеют вид:

$$Q_{b1} = k_1 \cdot R_{sh} \cdot b \cdot x, \quad (1)$$

$$Q_{b2} = k_2 \cdot R_{sh} \cdot b(x_0 - x). \quad (2)$$

Действующие расчетные усилия в верхнем и нижнем блоках балки (отсеченных наклонной и нормальной трещинами) приведено на рис. 3.

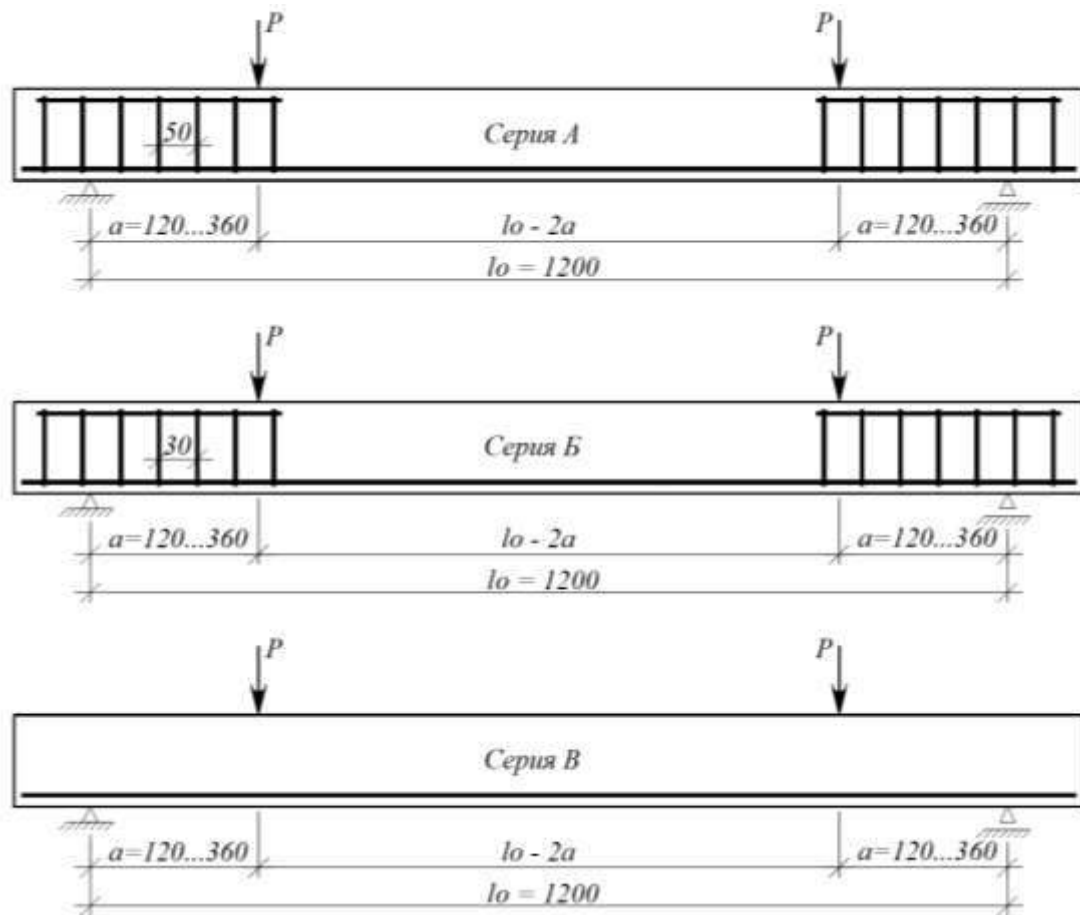


Рис. 2. Схемы загрузки балок и схемы их армирования

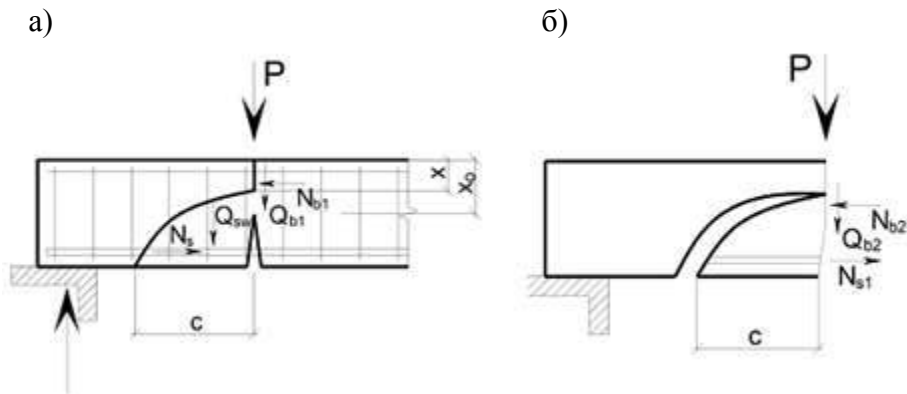


Рис. 3. Действующие расчетные усилия в верхнем (а) и нижнем (б) блоках балки

Корректировка расчетных зависимостей заключалась в уточнении эмпирических коэффициентов  $k_1$ ,  $k_2$ ), вводимых к расчетному сопротивлению бетона (каутона). Указанные коэффициенты имеют различные значения в зависимости от расчетного определяемого внутреннего усилия, класса продольной арматуры, наличия поперечного армирования в зоне действия поперечных сил. При этом отклонение расчетной прочности наклонных сечений от экспериментальных значений (полученных в результате опытных испытаний балок при разрушении по наклонным сечениям) при расчете по формулам (1) и (2) составило более 25 %.

В результате установлено, что указанные уточненные расчетные зависимости в большей степени отражают экспериментальную прочность наклонных сечений, нежели без корректировки. Однако, данные зависимости (а, соответственно, и их скорректированные версии) изначально разработаны для железобетона и не отражают всех

особенностей сопротивления наклонных сечений балок, выполненных из каутона. Одной из таких особенностей является более значительное (по сравнению с железобетоном) влияние значения пролета среза на прочность наклонных сечений каутоновых балок. Следовательно, необходима дополнительная корректировка метода расчета прочности наклонных сечений балок из каутона с непосредственным учетом в расчетных зависимостях величины пролета среза (или величины относительного пролета среза  $a/h_0$ ).

В результате анализа, выполненного в рамках настоящих исследований, проведенных экспериментальных испытаний по прочности наклонных сечений установлено, что с уменьшением пролета среза в каутоновых балках поперечная арматура менее интенсивно включается в работу (оказывает меньшее влияние на суммарную прочность наклонных сечений, нежели при больших пролетах среза) и напряжения в ней при этом снижаются, значения которых не достигают предельных. Таким образом, предлагается следующая зависимость для поперечного усилия  $Q_{sw}$ , воспринимаемого поперечной арматурой, которая имеет вид:

$$Q_{sw} = q_{sw} \cdot c \cdot \frac{a}{3h_0}. \quad (3)$$

При этом также установлено, что значение горизонтальной проекции критической наклонной трещины (по которой впоследствии происходит разрушение) в каутоновых балках при любых значениях пролета среза равно рабочей высоте сечения, то есть  $c = h_0$ .

Интенсивность распределенного погонного усилия в поперечной арматуре на единицу длины элемента  $q_{sw}$  определяется по стандартной формуле:

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s}. \quad (4)$$

Конечная зависимость для поперечного усилия  $Q_{b1}$ , воспринимаемого каутоном над вершиной наклонной трещины, имеет вид:

$$Q_{b1} = 0,2 \cdot R_{sh} \cdot b \cdot x. \quad (5)$$

В результате анализа полученных экспериментальных данных по прочности наклонных сечений каутоновых образцов-балок установлено, что при увеличении значения пролета среза продольная арматура в виде нагельного усилия, а также силы зацепления по берегам наклонной трещины оказывают меньшее влияние. Таким образом, предлагается следующая зависимость для поперечного усилия  $Q_{b2}$ , характеризующего нагельное усилие в продольной арматуре и силы зацепления в наклонной трещине, которая имеет вид:

$$Q_{b2} = R_{sh} \cdot b \cdot (x_0 - x) \cdot \frac{h_0}{1,2 \cdot a}. \quad (6)$$

Высота сжатой зоны  $x$  (над вершиной наклонной трещины) определяется из стандартного уравнения равновесия проекции внутренних усилий на продольную ось элемента:

$$R_k \cdot b \cdot x = k_s \cdot R_s \cdot A_s, \quad (7)$$

где  $k_s$  – коэффициент, учитывающий более интенсивное включение в работу продольной арматуры при разрушении по наклонным сечениям каутоновых балок при увеличении пролета среза, определяется по эмпирической зависимости, полученной по результатам замеров деформаций и напряжений в продольной арматуре во время испытания образцов-балок из каутона:

$$k_s = 0,1 \cdot \left(\frac{a}{h_0}\right)^2 - 0,15 \cdot \frac{a}{h_0} + 0,45. \quad (8)$$

Значение высоты сжатой зоны  $x_0$  (над вершиной нормальной трещины) определяется из стандартного уравнения равновесия проекции внутренних усилий на продольную ось элемента в нормальном сечении нижнего блока:

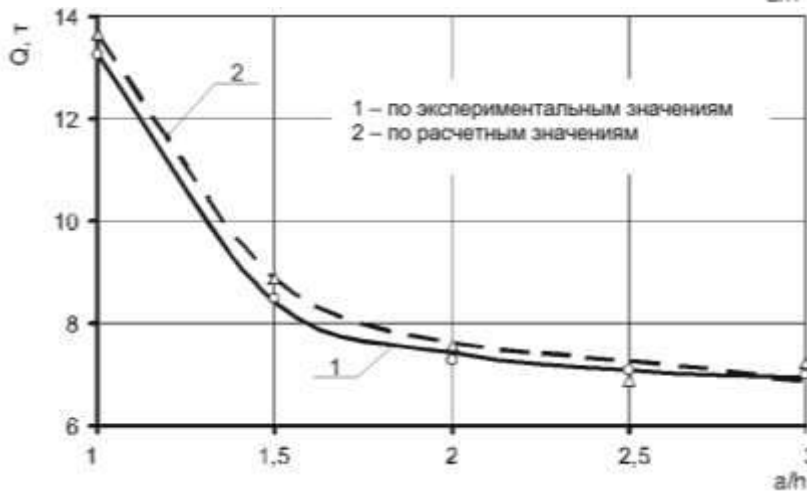
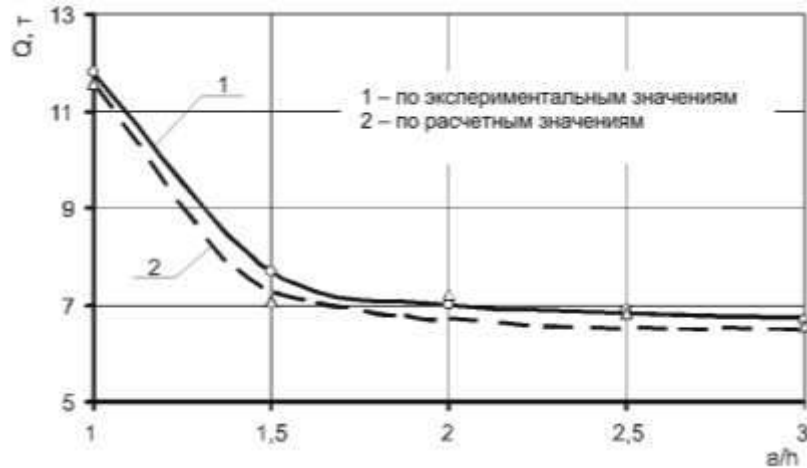
$$R_k \cdot b \cdot (x_0 - x) = k_s \cdot R_s \cdot A_s. \quad (9)$$

Итоговую проверку прочности наклонных сечений изгибаемых элементов из каутона производим из условия:

$$Q = Q_{sw} + Q_{b1} + Q. \quad (10)$$

Результаты расчета экспериментальных каутоновых балок по наклонным сечениям с использованием редактированных в данных исследованиях расчетных зависимостей с учетом внесенных рекомендаций представлены на рис. 4 (кривая 1 – по экспериментальным значениям; пунктирная кривая 2 – по расчетным значениям). Отклонение расчетной (теоретической) прочности наклонных сечений каутоновых балок от экспериментальной в среднем составило 2,5 %.

а)



б)

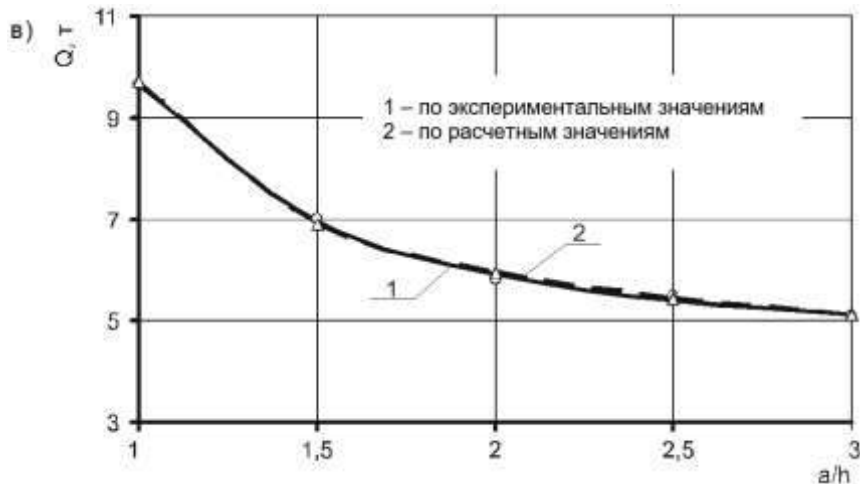


Рис. 4. Зависимости экспериментальной и расчетной (с использованием редактированных расчетных зависимостей с учетом внесенных рекомендаций) прочности наклонных сечений каутоновых балок от величины пролета среза при шаге поперечных стержней: а – 5 см; б – 3 см; в – балки без поперечного армирования.



Анализ сравнения результатов расчета с учетом внесенных рекомендаций в расчетные зависимости и опытных данных показал, что расчетная оценка несущей способности по наклонным сечениям изгибаемых каутоновых элементов с учетом предложенных рекомендаций в наибольшей степени отражает экспериментальную прочность наклонных сечений.

#### **Заключение.**

В результате анализа экспериментальных исследований образцов-балок из каутона определены зависимости, позволяющие рассчитать прочность наклонных сечений изгибаемых элементов.

Предложенные расчетные зависимости в наибольшей степени отражают экспериментальную прочность наклонных сечений каутоновых балок с поперечным армированием и без него по сравнению с предыдущими разработками. Отклонение расчетной (теоретической) прочности наклонных сечений каутоновых балок от экспериментальной в среднем составило 2,5 %.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Потапов, Ю. Б.** Эффективные композиты на основе жидкого каучука марки ПБН / Ю. Б. Потапов, Ю.М. Борисов // Вестник отделения строительных наук РААСН. –1999. – Вып. 2. – С. 190-196.

2. **Борисов, Ю. М.** Строительные материалы и изделия для особых условий эксплуатации на основе жидких каучуков : дисс. ... докт. техн. наук : 05.23.05 / Юрий Михайлович Борисов; Воронежский гос. арх-стр. ун-т. – Воронеж, 2004. – 435с.

3. **Панфилов, Д. В.** Дисперсно армированные строительные композиты на основе полибутадиенового олигомера : дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Дмитрий Вячеславович Панфилов; Воронежский гос. арх-стр. ун-т. – Воронеж, 2004.– 207 с.

4. **Чмыхов, В. А.** Сопротивление каучукового бетона действию агрессивных сред : дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Виталий Александрович Чмыхов; Воронежский гос. арх-стр. ун-т. – Воронеж, 2002. – 224 с.

5. **Пинаев, С. А.** Короткие сжатые элементы строительных конструкций из эффективного композита на основе бутадиенового полимера : дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Сергей Александрович Пинаев; Воронежский гос. арх-стр. ун-т. – Воронеж, 2001. – 190 с.

6. Расчет прочности нормальных сечений каутоновых и фиброкаутоновых изгибаемых элементов / А. Э. Поликутин, Ю. Б. Потапов, А. В. Левченко, Д. Н. Коротких // Известия вузов. Строительство. – 2019. – № 2. – С. 14-23.

7. **Борисов, Ю. М.** Напряженно деформированное состояние сжатых полок изгибаемых конструкций из армокаутона / Ю. М. Борисов, А. Э. Поликутин, А. С. Чудинов, Нгуен Фан Зуй // Строительная механика и конструкции. Научно-технический журнал. – 2012. – № 2(5). – С 76-84.

8. **Нгуен, Ф. З.** Двухслойные каутоно-бетонные изгибаемые элементы строительных конструкций : дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Нгуен Фан Зуй; Воронежский гос. арх-стр. ун-т. – Воронеж, 2010. – 185 с.

9. Исследование прочности наклонных сечений двухслойных изгибаемых элементов при изменении величины относительного пролета среза / А. Э. Поликутин, И. А. Константинов, Нгуен Фан Зуй, Чыонг Зунг Хиеп // Строительная механика и конструкции. – 2014. – № 1(8). – С 106-115.

10. **Поликутин, А. Э.** Прочность и трещиностойкость наклонных сечений изгибаемых элементов строительных конструкций из армокаутона : дисс. ... канд. техн. наук :

05.23.01 / Алексей Эдуардович Поликутин; Воронежский гос. арх-стр. ун-т. – Воронеж, 2002. – 235 с.

Поступила в редакцию 28 октября 2024

## MODIFICATION OF DESIGN METHOD FOR THE STRENGTH OF INCLINED SECTIONS OF RUBCON BENDING ELEMENTS

A. E. Polikutin, D. A. Polikutin

Aleksei Eduardovich Polikutin, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Constructions, Bases and Foundations named after Prof. Yu. M. Borisov, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(910)349-76-53; e-mail: a.pl@mail.ru

Dmitrii Alekseevich Polikutin, student of the Department of Constructions, Bases and Foundations named after Prof. Yu. M. Borisov, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(910)040-61-63; e-mail: polikutin2006@mail.ru

When operating structures made of "traditional" materials (reinforced concrete, steel) at industrial enterprises in aggressive environments, it is necessary to either protect the structures with special coatings (regularly restoring them), or regularly perform major repairs aimed at restoring the bearing capacity and operational characteristics of the structures. Chemically resistant polymer concretes are free from the above-mentioned drawback, one of which is rubber concrete (rubcon), which has (in comparison with other types of polymer concrete) increased strength properties and almost universal chemical resistance. At present, only partial studies of rubcon as a material for structures have been carried out with resolved issues of designing individual elements. For example, the issue of designing the strength of inclined sections of bending elements of rectangular cross-section made of rubcon has not been fully resolved. The article presents the results of modification of the method for designing the strength of inclined sections of bending elements of structures made of rubber concrete (rubcon) based on the experimental studies of the said elements. In the article we consider the bending elements made of rubcon reinforced with longitudinal reinforcement, as well as with and without transverse reinforcement. The design takes into account the value of the shear span, and also the actual degree of influence of longitudinal reinforcement. As a result of the modification, the deviation of the designed strength of inclined sections of rubcon beams from the experimental values was on average 2,5 %.

**Keywords:** bending element; inclined sections; shear span; rubber concrete; rubcon.

### REFERENCES

1. **Potapov Yu. B., Borisov Yu. M.** *Effective composites based on liquid rubber of the PBN brand.* Bulletin of the Department of Building Sciences of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences. 1999. Issue. 2. Pp. 190-196. (in Russian)
2. **Borisov Yu. M.** *Building materials and products for special operating conditions based on liquid rubbers.* Voronezh, Voronezh State University of Architecture and Construction. 2004. 435 p. (in Russian)
3. **Panfilov D. V.** *Dispersed reinforced building composites based on polybutadiene oligomer.* Voronezh, Voronezh State University of Architecture and Construction. 2004. 207 p. (in Russian)
4. **Chmikhov V. A.** *Resistance of rubber concrete to the action of aggressive environment.* Voronezh, Voronezh State University of Architecture and Construction. 2002. 224 p. (in Russian)

5. **Pinaev S. A.** *Short compressed elements of building structures made of an effective composite based on a butadiene polymer.* Voronezh, Voronezh State University of Architecture and Construction. 2001. 190 p. (in Russian)
6. **Polikutin A. E., Potapov Yu.B., Levchenko A.V., Korotkikh D.N.** *Calculation of the strength of normal sections of rubber concrete and fiber rubber concrete bendable elements.* Proceedings of Universities. Construction. 2019. No. 2. Pp. 14-23. (in Russian)
7. **Borisov, Yu. M., Polikutin A. E., Chudinov A. S., Nguyen Phan Duy** *The stress-strain state of compressed shelves of bent structures made of rubber concrete.* Construction mechanics and structures. Scientific and Technical Journal. 2012. No. 2(5). Pp. 76-84. (in Russian)
8. **Nguyen Phan Duy** *Two-layer rubber concrete-cement concrete bendable elements of building structures.* Voronezh, Voronezh State University of Architecture and Construction. 2010. 185 p. (in Russian)
9. **Polikutin A. E., Konstantinov I.A., Nguyen Phan Duy, Truong Dung Hiep** *Research of the strength of inclined sections of two-layer bent elements with a change section span.* Construction mechanics and structures. 2014. No. 1(8). Pp. 106-115. (in Russian)
10. **Polikutin A. E.** *Strength and crack resistance of inclined sections of bent elements of building structures made of reinforced rubber concrete.* Voronezh, Voronezh State University of Architecture and Construction. 2002. 235 p. (in Russian)

*Received 28 October 2024*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Поликутин, А. Э.** Корректировка метода расчета прочности наклонных сечений каутоновых изгибаемых элементов / А. Э. Поликутин, Д. А. Поликутин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 18-26. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.002.

**FOR CITATION:**

**Polikutin A. E., Polikutin D. A.** *Modification of design method for the strength of inclined sections of rubcon bending elements.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 18-26. DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.002. ( in Russian)

## **ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ**

### **ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES**

DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.003

УДК 697.245.37

#### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНФРАКРАСНЫХ ОБОГРЕВАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР**

**Е. С. Аралов, А. А. Михайлов**

Аралов Егор Сергеевич, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-53-21; e-mail: vgtu.aralov@yandex.ru

Михайлов Александр Андреевич, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-53-21; e-mail: alexander.alexander-student@mail.ru

Представлена математическая модель, описывающая тепловые характеристики инфракрасных обогревателей, используемых в условиях низких температур. Основное внимание уделено анализу влияния ключевых внешних факторов, таких как температура окружающей среды, влажность воздуха, скорость ветра и свойства обогреваемой поверхности, на эффективность обогрева и распределение теплового потока. Модель позволяет учесть различные параметры установки обогревателя, включая высоту и угол наклона, тип излучения и особенности поглощения и отражения тепла различными материалами. Проведенное моделирование и расчет тепловых потерь позволяют определить оптимальные условия эксплуатации инфракрасных обогревателей на открытом воздухе, минимизируя потери тепла и повышая эффективность системы. Результаты исследования могут быть использованы для проектирования энергоэффективных обогревательных систем для уличных и полужакрытых пространств в условиях холодного климата.

**Ключевые слова:** инфракрасный обогреватель; математическое моделирование; тепловые характеристики; низкие температуры; теплопередача; конвективные потери; радиационные потери; оптимизация обогрева.

Использование инфракрасных обогревателей в условиях низких температур на открытых площадках становится все более актуальным, особенно в холодных климатических зонах, где локальный обогрев необходим для создания комфортных условий. В отличие от традиционных методов отопления, инфракрасное излучение позволяет обогревать поверхности и объекты непосредственно, минуя стадию нагрева воздуха, что делает его эффективным для использования в местах с частым движением воздушных масс. Однако при низких температурах эффективность инфракрасных обогревателей может снижаться под влиянием внешних факторов, таких как ветер, влажность, наличие снега и особенно поглощения тепла обогреваемыми объектами [1...5]. Эти условия требуют специального подхода к настройке и размещению обогревателей.

Актуальной задачей является разработка математической модели, способной учитывать различные аспекты теплопередачи, специфичные для условий открытых площадок зимой. Такая модель должна учитывать как параметры установки обогревателя, включая высоту подвеса, угол наклона и мощность, так и внешние факторы, которые оказывают значительное влияние на распределение теплового потока и могут вызывать существенные потери тепла [4, 6]. Кроме того, значительную роль играет радиационная и конвективная составляющая теплопередачи, а также отражающая и поглощающая способность

материалов, подвергающихся воздействию излучения [7, 8].

Целью данной работы является создание комплексной модели, которая позволит точно рассчитать тепловые характеристики инфракрасных обогревателей в условиях низких температур и минимизировать энергетические потери. В ходе исследования будут определены параметры, обеспечивающие максимальный КПД системы обогрева в различных зимних условиях, а также даны рекомендации по оптимальному размещению обогревателей для обеспечения теплового комфорта на открытых и полузакрытых площадках.

Для моделирования условий низких температур были заданы параметры окружающей среды, включающие такие переменные, как температура воздуха, скорость ветра и относительная влажность. Эти условия играют ключевую роль, так как они влияют на теплопередачу от обогревателя к поверхности и, следовательно, на восприятие тепла.

Температура окружающей среды  $T_{\text{окр}}$  была рассмотрена в диапазоне отрицательных значений, что соответствует зимним условиям. Ветровая нагрузка  $\nu$ , которая существенно влияет на конвективные потери, была включена в модель с целью оценки её влияния на снижение плотности теплового потока. Также были заданы параметры конфигурации обогревателя - высота установки  $h$  и угол наклона  $\theta$ , которые, в свою очередь, определяют площадь покрытия тепловым излучением [9...11]. Для моделирования использовались разные значения высоты и угла, что позволяет оценить эффективность обогрева в зависимости от положения обогревателя [2, 12...14].

При построении модели учитывались основные механизмы теплопередачи, действующие на открытых площадках: радиационное излучение и конвективный теплообмен. Радиационные потери рассчитывались в соответствии с законом Стефана-Больцмана, который позволяет определить, сколько тепла теряется через инфракрасное излучение в окружающую среду. Важным параметром является излучательная способность поверхности  $\varepsilon$ , определяющая долю излучаемой энергии [15...17]. Этот параметр варьировался в зависимости от материалов обогреваемых объектов, таких как металл, дерево или бетон.

Конвективные потери тепла, возникающие под воздействием ветра, рассчитывались с использованием эмпирической зависимости, связывающей скорость ветра и коэффициент конвективной теплоотдачи  $h_{\text{конв}}$ . Для описания конвекции было использовано уравнение:

$$Q_{\text{конв}} = h_{\text{конв}} \times A \times (T_{\text{пов}} - T_{\text{окр}}), \quad (1)$$

где  $A$  – обогреваемая площадь,  $\text{м}^2$ ;  $T_{\text{пов}}$  – температура поверхности,  $^{\circ}\text{C}$ .  $T_{\text{окр}}$  – температура окружающей среды,  $^{\circ}\text{C}$ .

Данный подход позволил более точно учесть охлаждающее воздействие ветра и его влияние на эффективность инфракрасного обогрева.

Также необходимо учитывать особенности обогреваемой поверхности, такие как её материал, отражающая способность и наличие снега или льда. В модели описана теплопередача для различных материалов, которые обладают разной теплоемкостью и теплопроводностью. Например, металлические поверхности быстро нагреваются и охлаждаются, тогда как бетон и древесина требуют больше времени для нагрева, но лучше удерживают тепло. Для учёта отражающей способности поверхности в модель введён коэффициент  $R$ , который показывает долю отраженного тепла.

Наличие льда и снега на поверхности требует дополнительных затрат энергии на плавление. Потери тепла, связанные с плавлением, рассчитывались через удельную теплоту плавления льда  $L = 334$  кДж/кг и массу снежного или ледяного покрова  $m$ , зависящую от площади поверхности и толщины слоя льда. Эти потери снижали доступное тепло для обогрева поверхности и были учтены в модели как дополнительный источник теплопоглощения.

Важной задачей модели стало определение параметров, при которых достигается максимальная плотность теплового потока на обогреваемой поверхности. Для этого была использована формула расчёта теплового потока:

$$E_{\text{луч}} = \frac{P \cdot \cos(\theta)}{S(h, \theta)}, \quad (2)$$

где  $P$  – мощность обогревателя, Вт;  $S(h, \theta)$  – площадь покрытия излучением при заданной высоте и угле наклона, м<sup>2</sup>.

С целью минимизации потерь и повышения эффективности обогрева исследовались различные значения  $h$  и  $\theta$ , что позволило выявить оптимальные параметры размещения обогревателя в холодных условиях.

Для оценки чувствительности модели к внешним условиям были проанализированы изменения в плотности теплового потока и температуре поверхности при изменении ключевых факторов: температуры воздуха, скорости ветра и влажности. Этот анализ позволил выявить, какие параметры оказывают наибольшее влияние на снижение эффективности инфракрасного обогрева и при каких значениях окружающих факторов теплопередача становится минимальной.

Для анализа чувствительности эффективности обогревателя к изменению различных параметров можно применить дифференцирование к данному моделированию. Дифференцирование позволит определить, какие параметры оказывают наибольшее влияние на КПД инфракрасного обогревателя при условиях низких температур и помогают найти экстремумы, которые показывают оптимальные значения для максимальной эффективности.

Для определения оптимальной высоты  $h$ , при которой КПД обогревателя будет максимальным, продифференцируем выражение для КПД  $\eta(h)$  по  $h$  и приравняем производную к нулю:

$$\eta(h) = \frac{E_{\text{полез}}(h) \cdot A - (Q_{\text{конв}}(h) + Q_{\text{рад}}(h) + Q_{\text{плав}})}{P}. \quad (3)$$

Дифференцируем  $\eta(h)$  по  $h$ :

$$\frac{d\eta}{dh} = \frac{(dE_{\text{полез}}(h) \cdot A)}{dh} - \frac{d(Q_{\text{конв}}(h) + Q_{\text{рад}}(h))}{dh} = 0. \quad (4)$$

Здесь нужно отдельно рассмотреть, как каждый компонент ( $E_{\text{полез}}$ ,  $Q_{\text{конв}}$ ,  $Q_{\text{рад}}$ ) изменится при изменении  $h$ .

Производная температуры  $T_{\text{пов}}$  по скорости ветра показывает, как изменения в скорости ветра влияют на температуру обогреваемой поверхности.

По формуле (5) определяем температуру обогреваемой поверхности:

$$T_{\text{пов}} = T_{\text{окр}} + \frac{E_{\text{полез}} - (Q_{\text{конв}} + Q_{\text{рад}} + Q_{\text{плав}})}{h_{\text{конв}} \cdot A}. \quad (5)$$

Дифференцируем  $T_{\text{пов}}$  по  $v$  (изменение скорости ветра), учитывая, что  $Q_{\text{конв}}$  зависит от  $v$ :

$$\frac{dT_{\text{пов}}}{dv} = - \frac{1}{h_{\text{конв}} \cdot A} \cdot \frac{dQ_{\text{конв}}}{dv}. \quad (6)$$

Так как  $Q_{\text{конв}} = h_{\text{конв}} \times A \cdot (T_{\text{пов}} - T_{\text{окр}})$ , где  $h_{\text{конв}} = C \cdot v^{0,8}$  то:

$$\frac{dQ_{\text{конв}}}{dv} = C \cdot 0,8 \cdot v^{-0,2} \cdot A \cdot (T_{\text{пов}} - T_{\text{окр}}). \quad (7)$$

Чтобы найти оптимальный угол наклона, продифференцируем плотность теплового потока по углу  $\theta$  и найдем его экстремум.

$$E_{\text{луч}}(\theta) = \frac{P \cdot \cos(\theta)}{S(h, \theta)}. \quad (8)$$

Дифференцируем  $E_{\text{луч}}(\theta)$  по  $\theta$ :

$$\frac{dE_{\text{луч}}}{d\theta} = -\frac{P \cdot \sin(\theta)}{S(h, \theta)} - \frac{P \cdot \cos(\theta) \cdot \frac{dS(h, \theta)}{d\theta}}{S(h, \theta)^2} = 0. \quad (9)$$

Этот анализ позволяет найти значения  $\theta$ , при которых тепловой поток максимален.

Дифференцируя выражение для  $T_{\text{пов}}$  по  $P$ , можно оценить, насколько изменение мощности обогревателя влияет на температуру обогреваемой поверхности:

$$\frac{dT_{\text{пов}}}{dP} = \frac{1}{h_{\text{конв}} \cdot A} \cdot \frac{dE_{\text{полез}}}{dP}, \quad (10)$$

где  $\frac{dE_{\text{полез}}}{dP} = \frac{1-R}{S(h, \theta)}$ , учитывая отражающую способность поверхности  $R$ .

Дифференцирование позволяет анализировать чувствительность эффективности инфракрасного обогревателя к изменениям в каждом из параметров. Этот подход помогает выявить оптимальные параметры, обеспечивающие максимальный КПД и комфортный обогрев, и определяет, какие из факторов оказывают наибольшее влияние на результат.

### Заключение.

Разработана математическая модель, предназначенная для анализа и оптимизации параметров радиационного обогрева с использованием инфракрасных обогревателей.

Полученные результаты подтвердили, что корректировка высоты и угла наклона обогревателя, а также учет свойств поверхности существенно влияют на распределение тепла и его эффективность. В условиях низких температур и высокой ветровой нагрузки важным выводом стало определение параметров, при которых удастся поддерживать оптимальное тепловое воздействие при минимальных потерях энергии.

Применение разработанной модели может способствовать более рациональному использованию инфракрасных обогревателей в уличных условиях. Практическое значение работы заключается в возможности создания энергоэффективных обогревательных систем, способных поддерживать комфортные условия на открытых пространствах при снижении затрат на отопление.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Физико-математическое моделирование процесса прогрева тепличного грунта / Е. С. Аралов, Б. М. Кумицкий, З. С. Гасанов, О. Р. Дорняк // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2024. – № 2(74). – С. 40-49. – DOI 10.36622/2541-7592.2024.74.2.003.

2. **Аралов, Е. С.** Физико-математическое моделирование температурного режима летней теплицы / Е. С. Аралов, В. Д. Коротков // Научные исследования современных учёных : сборник материалов XXIII-ой международной очно-заочной научно-практической конференции, в 2 т., Москва, 20 мая 2024 года. – Москва: НИЦ «Империya», 2024. – С. 38-43.

3. Моделирование теплового состояния помещения при использовании отопительной конструкции двухзонного темного газолучистого обогревателя / Е. С. Аралов, Б. М. Кумицкий, О. А. Куцыгина, О. Р. Дорняк // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2023. – № 3(71). – С. 42-52. – DOI 10.36622/VSTU.2023.3.71.004.

4. **Аралов, Е. С.** CFD-анализ воздушных потоков и температур на базе газолучистого отопления в промышленных условиях / Е. С. Аралов, Б. М. Кумицкий // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2023. –

Т. 50. – № 4. – С. 166-174. – DOI 10.21822/2073-6185-2023-50-4-166-174.

5. К методике определения плотности лучистых тепловых потоков от излучателей линейной протяженности / Е. С. Аралов, В. Н. Мелькумов, Б. М. Кумицкий, С. В. Чуйкин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 3(45). – С. 22-27. – DOI 10.52684/2312-3702-2023-45-3-22-27.

6. **Аралов, Е. С.** Моделирование теплового режима в помещении на базе локального обогрева инфракрасным трубчатый излучателем / Е. С. Аралов, Б. М. Кумицкий, Н. В. Колосова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 3(26). – С. 40-50. – DOI 10.36622/VSTU.2023.26.3.004.

7. **Чуйкин, С. В., Аралов, Е. С.** Двухзонный темный газолучистый обогреватель. пат. №213700 (Российская Федерация), МПК F24D 5/08, F23M 9/04, F28D 1/047 патенто-обладатель Чуйкин Сергей Владимирович, Аралов Егор Сергеевич. – № 2022118249 : заявл. 04.07.2022 : опубл. 23.09.2022, Бюл. №27. – 4 с.

8. **Аралов, Е. С.** Оптимизация конструкции газолучистого обогревателя темного типа / Е. С. Аралов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 1(24). – С. 55-61. – DOI 10.36622/VSTU.2023.24.1.006.

9. **Аралов, Е. С.** Эффективная конструкция двухзонного темного газолучистого обогревателя / Е. С. Аралов, С. В. Чуйкин // Математическое и экспериментальное моделирование физических процессов : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Биробиджан, 15 декабря 2022 года / Под научной редакцией В.М. Козина. – Биробиджан: Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема, 2023. – С. 62-66.

10. **Аралов, Е. С.** Разработка программного комплекса для определения коэффициента облучения газолучистого обогревателя / Е. С. Аралов, С. В. Чуйкин // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова, Белгород, 16...17 мая 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. – С. 13-16.

11. Modeling of the thermal state of a room when using the heating structure of a two-zone dark gas-beam heater / E. S. Aralov, B. M. Kumitsky, O. A. Kutsigina, O. R. Dorniyak // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2023. – No. 3(59). – P. 16-24. – DOI 10.36622/VSTU.2023.3.59.002.

12. **Чуйкин, С. В.** Разработка конструкции и совершенствование методики расчёта двухзонного тёмного газолучистого обогревателя для отопления промышленных и общественных помещений / С. В. Чуйкин, Е. С. Аралов // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2023. – № 2(254). – С. 29-31.

13. **Калинина, А. И.** Особенности формирования микроклимата в помещениях с повышенной влажностью, с учетом теплотехнических характеристик ограждающих конструкций / А. И. Калинина, А. Р. Макаров, Е. С. Аралов // Инновации и инвестиции. – 2021. – № 3. – С. 256-259.

14. **Глушков, А. Ю.** Расчет газовых лучистых обогревателей для помещений сложной конфигурации / А. Ю. Глушков, И. И. Полосин // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2013. – № 11(143). – С. 56-57.

15. **Глушков, А. Ю.** Необходимость расчета газовых лучистых обогревателей в зависимости от конструктивных особенностей помещения / А. Ю. Глушков, Д. В. Лобанов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 1(22). – С. 12-18.

16. **Дугаров, Ю. Ц.** Применение газовых инфракрасных обогревателей как перспективное направление в отопительной технике / Ю. Ц. Дугаров, Р. А. Кадцын // Промышленное и гражданское строительство. – 2003. – № 12. – С. 38-39.

17. Сравнение различных типов газовых инфракрасных обогревателей / Е. С. Кудрина, А. Ю. Чадов, Д. О. Мухамедияров [и др.] // Аспирант. – 2020. – № 4(55). – С. 99-101.



18. **Семенов, Р. И.** Отопление производственных помещений при помощи газовых инфракрасных обогревателей / Р. И. Семенов, С. В. Угорова // . – 2019. – № 5-3. – С. 280-285.

19. **Аралов, Е. С.** Обеспечение теплового комфорта в помещениях ресторанных комплексов / Е. С. Аралов // Научная опора воронежской области: Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий, Воронеж, 03–28 апреля 2017 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2017. – С. 95-96.

20. **Дыскин, Л. М.** Локальный обогрев лучистым отоплением / Л. М. Дыскин, В. В. Шиванов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2008. – № 5-6. – С. 11-14.

*Поступила в редакцию 13 ноября 2024*

## MATHEMATICAL MODELING OF THERMAL CHARACTERISTICS OF INFRARED HEATERS IN LOW TEMPERATURE CONDITIONS

**E. S. Aralov, A. A. Mikhailov**

---

Egor Sergeevich Aralov, Senior Lecturer of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7 (473)271-53-21; e-mail: vgtu.aralov@yandex.ru  
Alexander Andreevich Mikhailov, student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-53-21; e-mail: alexander.alexander-student@mail.ru

---

This paper presents a mathematical model describing the thermal characteristics of infrared heaters used in low-temperature conditions. The main focus is on the analysis of the key external factors, such as ambient temperature, air humidity, wind speed and properties of the heated surface, and their influence on the heating efficiency and heat flow distribution. The model allows taking into account various heater installation parameters, including height and angle of inclination, radiation type and features of heat absorption and reflection by various materials. The conducted modeling and calculation of heat losses allow us to determine the optimal operating conditions for infrared heaters in the open air, minimizing heat loss and increasing the efficiency of the system. The results of the study can be used to design energy-efficient heating systems for outdoor and semi-enclosed spaces in cold climates.

**Keywords:** infrared heater; mathematical modeling; thermal characteristics; low temperatures; heat transfer; convective losses; radiation losses; heating optimization.

### REFERENCES

1. **Aralov E. S., Kumitsky B. M., Gasanov Z. S., Dornyak O. R.** *Physical and mathematical modeling of the process of heating greenhouse soil.* Scientific journal of construction and architecture. 2024. No. 2(74). Pp. 40-49. DOI 10.36622 / 2541-7592.2024.74.2.003. (in Russian)

2. **Aralov E. S., Korotkov V. D.** *Physical and mathematical modeling of the temperature regime of a summer greenhouse.* Scientific research of modern scientists: collection of materials of the XXIII international in-person and correspondence scientific and practical conference, in 2 volumes, Moscow, May 20, 2024. Moscow, Publishing House of the Research Center «Imperia». 2024. Pp. 38-43. (in Russian)

3. **Aralov E. S., Kumitsky B. M., Kutsygina O. A., Dornyak O. R.** *Modeling the thermal state of the room when using the heating structure of a two-zone dark gas radiant heater.* Scientific journal of construction and architecture. 2023. No. 3(71). Pp. 42-52. DOI 10.36622 /

VSTU.2023.3.71.004. (in Russian)

4. **Aralov E. S., Kumitsky B. M.** *CFD analysis of air flows and temperatures based on gas radiant heating in industrial conditions.* Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical sciences. 2023. Vol. 50. No. 4. Pp. 166-174. DOI 10.21822/2073-6185-2023-50-4-166-174. (in Russian)

5. **Aralov E.S., Melkumov V. N., Kumitsky B. M., Chuikin S. V.** *On the methodology for determining the density of radiant heat fluxes from linear emitters.* Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region. 2023. No. 3(45). Pp. 22-27. DOI 10.52684/2312-3702-2023-45-3-22-27. (in Russian)

6. **Aralov E. S., Kumitsky B. M., Kolosova N. V.** *Modeling of the thermal regime in a room based on local heating by an infrared tubular emitter.* Housing and communal infrastructure. 2023. No. 3(26). Pp. 40-50. DOI 10.36622 / VSTU.2023.26.3.004. (in Russian)

7. **Chuikin S.V., Aralov E.S.** *Two-zone dark gas-radiant heater.* Pat. No. 213700 (Russian Federation), IPC F24D 5/08, F23M 9/04, F28D 1/047 patentee Chuikin Sergey Vladimirovich, Aralov Egor Sergeevich. No. 2022118249: Appl 04.07.2022 ; publ. 23.09.2022, bull. No. 27. 4 p. (in Russian)

8. **Aralov E. S.** *Optimization of the design of a gas-radiant heater of a dark type.* Housing and communal infrastructure. 2023. No. 1(24). Pp. 55-61. DOI 10.36622/VSTU.2023.24.1.006. (in Russian)

9. **Aralov E. S., Chuikin S. V.** *Efficient design of a two-zone dark gas-radiant heater.* Mathematical and experimental modeling of physical processes: Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, Birobidzhan, December 15 2022. Under the scientific editorship of V.M. Kozin. Birobidzhan. Priamursky State University. Sholom Aleichem. 2023. Pp. 62-66. (in Russian)

10. **Aralov E. S., Chuikin S. V.** *Development of a software package for determining the irradiation coefficient of a gas-radiant heater.* International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of the Belarusian State Technical University. V.G. Shukhov, dedicated to the 170th anniversary of the birth of V.G. Shukhova, Belgorod, May 16-17, 2023. Belgorod. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2023. Pp. 13-16. (in Russian)

11. **Aralov E. S., Kumitsky B. M., Kutsigina O. A., Dorniyak O. R.** *Modeling of the thermal state of a room when using the heating structure of a two-zone dark gas-beam heater.* Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2023. No. 3(59). Pp. 16-24. DOI 10.36622/VSTU.2023.3.59.002.

12. **Chuikin S. V., Aralov E. S.** *Development of the design and improvement of the methodology for calculating a two-zone dark gas-radiant heater for heating industrial and public.* Plumbing, Heating, Air Conditioning. 2023. No. 2(254). Pp. 29-31. (in Russian)

13. **Kalinina A. I., Makarov A. R., Aralov E. S.** *Features micro-climate formations in rooms with higher humidity, with four thermal characteristics surrounding the construction.* Innovations and investments. 2021. No. 3. Pp. 256-259. (in Russian)

14. **Glushkov A. Yu.** *Calculation of gas radiant heaters for rooms of complex configuration.* Plumbing, Heating, Air Conditioning. 2013. No. 11(143). Pp. 56-57. (in Russian)

15. **Glushkov A. Yu., Lobanov D. V.** *The need to calculate gas radiant heaters depending on the design features of the room.* Science Magazine. Engineering systems and construction. 2016. No. 1(22). Pp. 12-18. (in Russian)

16. **Dugarov Yu. C., Kadtsyn R. A.** *Replacement of gas repeaters in heating equipment.* Industrial and civil construction. 2003. No. 12. Pp. 38-39. (in Russian)

17. **Kudrina E. S., Chadov A. Yu., Mukhamedyarov D. O.** *Comparison of different types of gas infrared heaters.* Postgraduate student. 2020. No. 4(55). Pp. 99-101. (in Russian)

18. **Semenov R. I., Ugorova S. V.** *Heating of industrial premises using gas infrared heaters.* 2019. No. 5-3. Pp. 280-285. (in Russian)

19. **Aralov E. S.** *Ensuring thermal comfort in the premises of restaurant complexes*. Scientific support of the Voronezh region: A collection of works of the winners of the competition of research works of students and postgraduates of VSTU in priority areas of science and technology development, Voronezh. Voronezh State Technical University. 2017. Pp. 95-96. (in Russian)

20. **Dyskin L. M., Shivanov V. V.** *Local heating by radiant heating*. News of higher educational institutions. Energy problems. 2008. No. 5-6. Pp. 11-14.

*Received 13 November 2024*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Аралов, Е. С.** Математическое моделирование тепловых характеристик инфракрасных обогревателей в условиях низких температур / Е. С. Аралов, А. А. Михайлов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 27-34. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.003.

**FOR CITATION:**

**Aralov E. S., Mikhailov A. A.** *Mathematical modeling of thermal characteristics of infrared heaters in low temperature conditions*. Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 27-34. DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.003. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.004

УДК 621.1.016.7

## РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА СЖИМАЕМОСТИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В СИСТЕМАХ КОММУНАЛЬНОГО ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Д. Н. Китаев, О. А. Куцыгина

Китаев Дмитрий Николаевич, канд. техн. наук., доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(960)100-88-01; e-mail: dkitaev@cchgeu.ru

Куцыгина Ольга Александровна, д-р техн. наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(960)113-93-28; e-mail: okuzygina@cchgeu.ru

При определении объемов полученного природного газа потребителем необходимо приведение показаний счетчика к стандартным условиям. При этом необходимо учитывать значение коэффициента сжимаемости природного газа при стандартных и рабочих условиях. Современные справочные данные и рекомендуемое минимальное значение применения уравнений состояния реальных газов ограничено 250К, но на практике фактические значения могут быть значительно ниже. Ошибки при использовании подстановочных значений коэффициента сжимаемости влияют на расчет итоговых объемов природного газа. В статье представлены результаты вычислений коэффициента сжимаемости природного газа расчетного состава по двум уравнениям состояния, учитывающим реальные свойства в диапазоне температур 223,15...303,15 К и давлений 0,1...0,6МПа, применяемых для газоснабжения потребителей жилищно-коммунального комплекса. Предложено уравнение, позволяющее проводить расчеты коэффициента сжимаемости природного газа расчетного состава в зависимости от давления и температуры в рассмотренном диапазоне с высокой точностью.

**Ключевые слова:** коммунальное хозяйство; газоснабжение; расход газа; реальный газ; коэффициент сжимаемости.

Бесперебойное снабжение природным газом внутренних и внешних потребителей РФ представляет собой народнохозяйственную задачу и обеспечивает значительный вклад в структуру ВВП, доля которой постоянно увеличивается [1, 2]. Поставка природного газа и измерение расхода является одной из важных задач повышения качества услуги по газоснабжению потребителей [3, 4].

Современные стандарты в области газоснабжения потребителей (например ГОСТ Р 8.741-2019), устанавливая необходимость приведения измеренного объема газа  $V$  к стандартным условиям  $V_c$ . Рекомендуется формула:

$$V_c = V \frac{\rho}{\rho_c} = V \frac{p T_c z_c}{p_c T z} \quad (1)$$

В уравнении (1) индекс «с» относится к параметрам при стандартных условиях, а без индексов – к рабочим условиям, т.е. к тем, при которых проводились замеры объема.

Плотность газа  $\rho$  и коэффициент сжимаемости  $z$  при рабочих условиях измеряют или определяют расчетными методами по известному компонентному составу, температуре и давлению, например по ГОСТ 30319.2, ГОСТ 30319.3 или ГОСТ Р 8.662, а при стандартных условиях по известному компонентному составу, например по ГОСТ 31369. Большинство рекомендуемых уравнений, позволяющих определить значение коэффициента сжимаемости, требуют реализации вычислительных алгоритмов с применением численных методов решения уравнений на ЭВМ [5...7].

В нормативе ГСССД-160-93, рекомендуемом для применения во всех областях хозяйственной деятельности, приведены справочные данные по свойствам природного газа расчетного состава, т.е. в соответствии ГОСТ 23184-83 не содержащего жидких и твердых золь и состоящего из индивидуальных газов условного состава по объемным долям: метан 98,63 %, этан 0,12 %, пропан 0,02 %, н-бутан 0,1 %, диоксид углерода 1,01 %, азот 0,12 %. Значения коэффициента сжимаемости представлены в диапазоне температур 250...450 К и давлений 0,1...12 МПа.

Анализ современных методов вычисления коэффициента сжимаемости показывает, что наименьшее рекомендуемое для расчета значение температуры газа составляет 250 К, а наибольшее лежит в диапазоне от 290 до 350 К. Максимальное рекомендуемое значение давления находится в диапазоне от 3 до 30 МПа [8...10]. В области температур меньше 250 К в настоящее время отсутствуют достоверные справочные данные, утвержденные государственными органами. Теоретически не обосновано наиболее адекватное уравнение, пригодное для расчета в области температур меньших 250 К. Сложность реализации процедуры вычисления коэффициента сжимаемости на практике приводит к использованию при низких температурах значений для 250 К, что способствует ошибкам вычисления объема поставленного и потребленного природного газа [11, 12]. Для практического применения полезно иметь простые уравнения, позволяющие провести расчет коэффициента сжимаемости природного газа для определенных диапазонов давлений и температур, используемых в конкретной отрасли хозяйства.

В области жилищно-коммунального хозяйства городов в соответствии с СП 62.13330.2011\* потребителями используется низкое, среднее и высокое давление категории II природного газа по классификации газопроводов. С учетом максимальных значений давлений в газопроводах жилых и промышленных зданий, отдельно стоящих котельных и интегрированных в здание автономных источников теплоснабжения в соответствии с СП 373.1325800.2018, значение давления при измерении расхода газа может находиться в интервале 0,1...0,6 МПа. В соответствии с СП 131.13330.2020 для теплого периода года для территории РФ максимальная температура воздуха обеспеченностью 0,98 составляет 33 °С для населенных пунктов Александров Гай, Элиста, Керчь, а минимальная температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98 составляет -60 °С для населенного пункта Верхоянск. С учетом фактической ситуации в области централизованного газоснабжения коммунальных потребителей северных территорий, примем минимальное значение температуры -50 °С. В итоге будем рассматривать диапазоны давлений 0,1÷0,6 МПа и температур 223,15...303,15 К.

В данной статье рассматриваются результаты вычислений коэффициента сжимаемости по двум уравнениям. Первое уравнение имеет общий вид

$$z = 1 + \rho_m (C_m \rho_m + B_m), \quad (2)$$

где  $C_m, B_m$  – коэффициенты;  $\rho_m$  – молярная плотность.

Уравнение (2) является модифицированным уравнением состояния, разработанным Европейской группой газовых исследований, и оно рекомендуется стандартами ГОСТ 30319.2-2015 и ISO 12213-3:2006 (Е). Это уравнение было получено на основе экспериментальных данных [13,14] и уравнения состояния вириального типа [10, 15, 16]. Формулы для расчета коэффициентов  $C_m, B_m$  уравнения (2) содержат дополнительно еще 14 уравнений, что влечет значительный объем вычислений.

Второе уравнение, рассматриваемое в статье, используется в ведомственных газоснабжающих организациях в качестве базового уравнения состояния. В приведенной форме уравнение имеет вид

$$z = 1 + \left( \frac{a_1}{A} - \frac{a_2}{A^2} - \frac{a_3}{A^4} \right) \frac{B}{z} + \left( \frac{a_4}{A^2} - \frac{a_5}{A^3} + \frac{a_6}{A^5} \right) \left( \frac{B}{z} \right)^2, \quad (3)$$

где  $A = \frac{T}{\sum_{i=1}^k T_{кри}}$ ,  $B = \frac{P}{\sum_{i=1}^k P_{кри}}$  – константы;  $a_1 \dots a_6$  – константы, зависящие от элементарного состава газа;  $P_{кри}$ ,  $T_{кри}$  – критические параметры компонента смеси;  $k$  – число компонентов.

По уравнениям (2) и (3) для диапазонов температур от 223,15 К до 303,15 К и давлений от 0,1 МПа до 0,6 МПа были определены значения коэффициента сжимаемости природного газа расчетного состава [17]. Точность решения уравнений задавалась не более  $0,9 \cdot 10^{-6}$ . На рис. 1 представлены значения средней относительной погрешности  $\Delta$ , вычисления значения  $z$  по уравнениям (2) и (3).

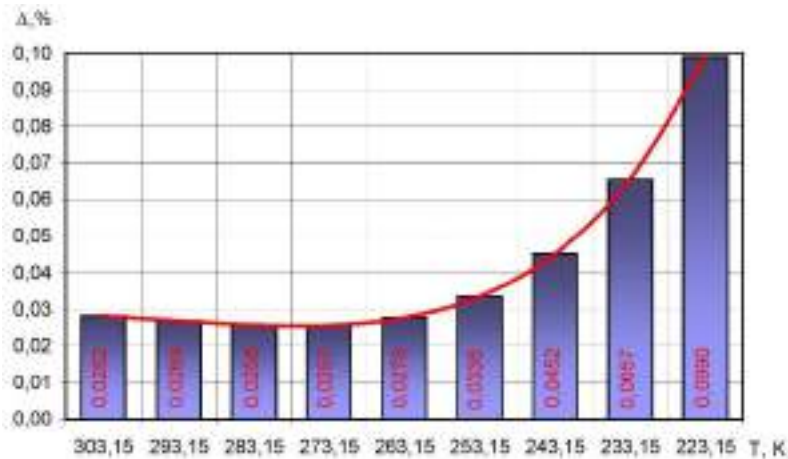


Рис. 1. Соотношение результатов вычислений по формулам (2) и (3)

Как следует из рис. 1 результаты применения уравнений (2) и (3) достаточно близки друг к другу и в среднем отличаются на 0,027 % в диапазоне температур от 303,15 К до 263,15 К и давлений от 0,1 МПа до 0,6 МПа. Наиболее близкие значения получаются при температуре 273,15 К, а по всему исследуемому диапазону среднее значение относительной разницы в результатах составляет 0,042 %. В области отрицательных температур наблюдается тенденция увеличения расхождения результатов, с максимальным значением погрешности 0,099 % при температуре 223,15 К.

На рис. 2 осредненные значения коэффициента сжимаемости  $z$ , полученные по уравнениям (2) и (3). Как видно из результатов расчета (рис. 2) при понижении температуры и увеличении давления значение коэффициента  $z$  уменьшается. Характерно увеличение разницы коэффициента сжимаемости при крайних значениях диапазона давлений с понижением температуры. Разница в значениях  $z$  составляет 0,0084 при температуре 303,15 К, и 0,023 при 223,15 К. Минимальное значение  $z$  наблюдается при температуре 223,15 К и давлении 0,6 МПа и составляет 0,97247. Можно сделать вывод о том, что в области давлений и температур использования природного газа в секторе ЖКХ, значительного изменения коэффициента сжимаемости не происходит, а реальные свойства сухого природного газа проявляются слабо.

Как следует из рис. 2, зависимости коэффициента сжимаемости от давления при постоянной температуре близки к линейным. Было получено уравнение, позволяющее рассчитать значение коэффициента сжимаемости природного газа расчетного состава для диапазона температур 223,15...303,15 К и давлений 0,1...0,6 МПа вида

$$z = 1 - (294,567 - 1,6716T + 2,49393 \cdot 10^{-3} T^2) 10^{-3} p. \quad (4)$$

Как показали расчеты, полученное уравнение (4) позволяет вычислять  $z$  для рассматриваемого в работе диапазона давлений и температур со средним значением относительной погрешности  $\Delta_{ср} = 0,0067$  % по отношению к осредненным данным, полученным

по уравнениям (2) и (3). На рис.3 представлены значения относительной погрешности  $\Delta$  вычисления значения  $z$  по уравнению (4) по отношению к справочным данным ГСССД-160-93.

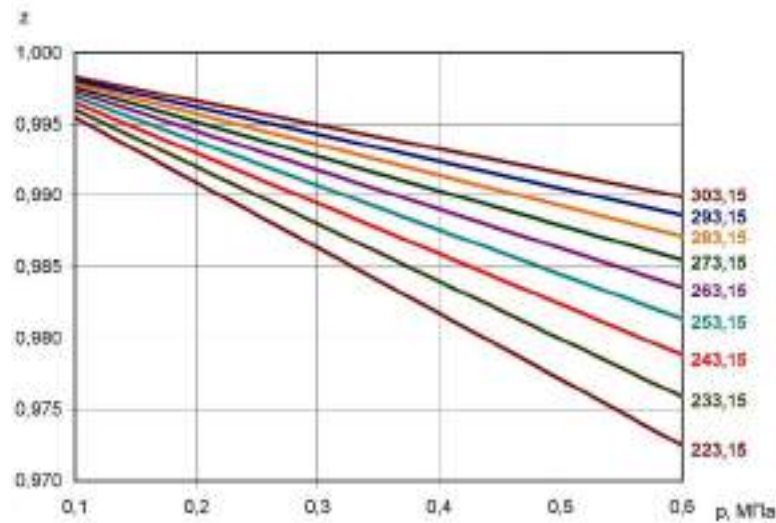


Рис. 2. Графики зависимости  $z=f(p)$ , при  $223,15 \leq T \leq 303,15$  К

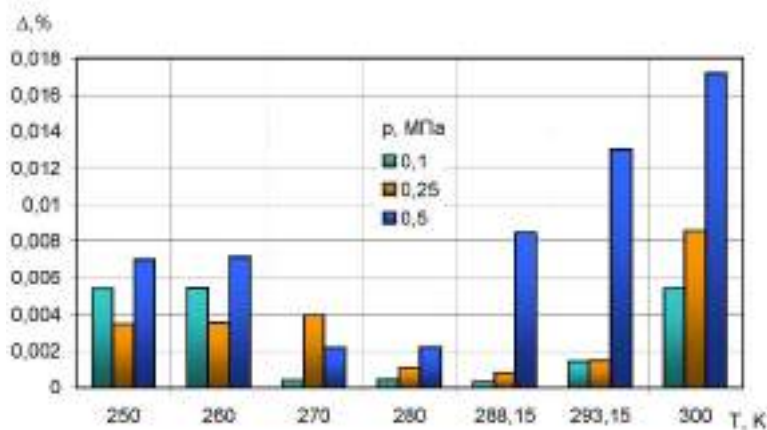


Рис. 3. Расхождение результатов вычислений по формуле (1) с данными ГСССД

Как следует из рис. 3, уравнение (4) достаточно точно позволяет определить значения коэффициента сжимаемости по отношению к справочным данным, среднее значение ошибки по всему диапазону составляет 0,0047 %. С увеличением давления увеличивается погрешность вычисления. Максимальное значение ошибки  $\Delta_{\max}=0,0172$  % наблюдается при давлении 0,5 МПа и температуре  $T=300$  К. Полученная точность для диапазонов имеющихся справочных данных, косвенно подтверждает возможность применения уравнения (4) и в области более низких температур, рассмотренных в статье.

### Заключение.

На основе использования уравнений состояния реального газа, рекомендуемыми государственными и ведомственными нормативами установлены значения коэффициента сжимаемости природного газа расчетного состава для значений температур до 223,15 К. Установлено, что результаты вычислений по уравнениям (2) и (3) достаточно близки друг к другу во всем диапазоне рассматриваемых давлений и температур, используемых в секторе ЖКХ, и в среднем отличаются на 0,042 %.

Получено уравнение, позволяющее рассчитать коэффициент сжимаемости газа расчетного состава в интервалах температур 223,15...303,15 К и давлений 0,1...0,6 МПа со

средним значением относительной ошибки по всему диапазону 0,0047 % по отношению к осредненным данным. Результаты вычислений по предложенному уравнению имеют высокую точность для диапазонов давлений 0,1...0,5 МПа и температур 250...300 К.

Полученные результаты позволяют определять коэффициент сжимаемости природного газа в областях давлений и температур систем газоснабжения коммунального хозяйства, что способствует повышению точности определения объемов используемого газа.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Механизм управления затратами на топливно-энергетические ресурсы в процессе эксплуатации объектов городской инфраструктуры / О. Куцыгина, А. Чугунов, М. Агафонова, И. Серебрякова // Энергетическое управление муниципальными объектами и устойчивые энергетические технологии: сборник трудов по материалам XXI Международной научной конференции. – Воронеж. – 2020. – С. 41-51.
2. Cost management for fuel and energy resources in the creation and operation of urban infrastructure / O. Kutsygina, M. Agafonova, A. Chugunov, I. Serebryakova // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2021. – Vol. 1258. – Pp. 553-565.
3. Влияние погрешностей определения коэффициента сжимаемости на результат измерения расхода природного газа при низких температурах / Р. И. Ганиев, Д. Ю. Кутовой, В. А. Фафурин, М. Л. Шустрова, В. Б. Явкин // Южно-Сибирский научный вестник. – 2023. – №4(50). – С. 16-21. – DOI: 10.25699/SSSB.2023.50.4.001.
4. Газоохладительная установка для компрессорных цехов магистральных газопроводов / Л. П. Шелудько, С. А. Гулина, И. Ю. Горюнова, Г. В. Власов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2018. – № 1(57). – С. 117-127.
5. Экспериментальное исследование применимости методик определения коэффициента сжимаемости природного газа в области низких температур / Д. Ю. Кутовой, Р. И. Ганиев, М. Л. Шустрова, В. Б. Явкин, В. А. Фафурин // Омский научный вестник. – 2024. – № 2(190). – С. 163-170. – DOI: 10.25206/1813-8225-2024-190-163-170.
6. **Купцова, Е. С.** Рекомендации по корректировке методик оценки термодинамических свойств природного газа / Е. С. Купцова, С. М. Купцов // Территория Нефтегаз. – 2022. – № 1-2. – С. 70-74.
7. **Хворов, Г. А.** Анализ энергосберегающих технологий охлаждения газа на основе аппаратов воздушного охлаждения в транспорте газа ПАО «Газпром» / Г. А. Хворов, М. В. Юмашев // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2016. – № 9. – С. 127-132.
8. Методика определения коэффициента сжимаемости природного газа / Д. Ю. Кутовой, Р. И. Ганиев, В. А. Фафурин, М. Л. Шустрова, В. Б. Явкин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2023. – Т. 21. – № 4. – С. 4-10. – DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-4-10.
9. **Сухарев, М. Г.** Коэффициент сжимаемости природного газа: сопоставление аппроксимаций и критерии выбора / М. Г. Сухарев, Р. В. Самойлов, А. С. Критинина // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2023. – № 1(594). – С. 42-54. – DOI: 10.33285/2782-604X-2023-1(594)-42-54.
10. Measurements of the calorific value of methane with the new SERG reference calorimeter / P. Schley, M. Beck, M. Uhrig, S.M. Sarge, J. Rauch, F. Haloua // Int. J. Thermophys. – 2010. – 31(4-5). – Pp. 665-679.
11. Оценка применимости уравнений состояния природного газа в области низких температур / Р. И. Ганиев, Д. Ю. Кутовой, В. А. Фафурин, М. Л. Шустрова, В. Б. Явкин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2023. – Т. 21. – № 3. – С. 4-10. – DOI: 10.22213/2410-9304-2023-3-4-10.



12. Коэффициент сжимаемости природного газа в области низких температур / Д. Ю. Кутовой, М. Л. Шустрова, В. А. Фафурин, И. А. Яценко, Р. И. Ганиев, Л. В. Миннегалиева, В. Б. Явкин // Газовая промышленность. – 2024. – № 7(868). – С. 48-53. – DOI: 10.25206/1813-8225-2024-190-163-170.

13. The GERG-2004 wide-range equation of state for natural gases and other mixtures [Электронный ресурс] / O. Kunz, R. Klimeck, W. Wagner, M. Jaeschke // GERG Technical Monograph. – 2007. – Vol. 6. – № 557. – Режим доступа: [http://www.gerg.eu/public/uploads/files/publications/technical\\_monographs/tm15\\_04.pdf](http://www.gerg.eu/public/uploads/files/publications/technical_monographs/tm15_04.pdf) (14.06.2024).

14. **Kunz, O.** The GERG-2008 wide-range equation of state for natural gases and other mixtures: An expansion of GERG-2004 / O. Kunz, W. Wagner // Journal of Chemical & Engineering Data – 2012. – № 57. – Pp. 3032-3091.

15. **Kunz, O.** The GERG-2004 wide-range equation of state for natural gases and other mixtures / O. Kunz, R. Klimeck, W. Wagner, M. Jaeschke // Groupe europeen de recherches gazieres. Tech. Monograph №GERG TM15. – 2007. – 535 p., also printed as fortschritt-berichte 6 no. 557 (2007).

16. **Jaeschke, M.** The GERG Databank of High Accuracy Compressibility Factor Measurements [Электронный ресурс] / M. Jaeschke, A. E. Humphreys // GERG Technical Monograph. – 1991. – Vol. 6. – № 251. – Режим доступа: [http://www.gerg.eu/public/uploads/files/publications/technical\\_monographs/tm4\\_91.pdf](http://www.gerg.eu/public/uploads/files/publications/technical_monographs/tm4_91.pdf).

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024665126. Программа расчета физических свойств природного газа на основе данных о плотности при стандартных условиях и содержании азота и диоксида углерода / Д. Н. Китаев, Е. В. Иевлева. – Заявка № 2024663738. Дата поступления 17 июня 2024г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27 июня 2024 г.

*Поступила в редакцию 15 ноября 2024*

## CALCULATION OF THE COMPRESSIBILITY COEFFICIENT OF NATURAL GAS IN MUNICIPAL GAS SUPPLY SYSTEMS

**D. N. Kitaev, O. A. Kutsygina**

---

Dmitry Nikolaevich Kitaev, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(960)100-88-01; e-mail: [dkitaev@cchgeu.ru](mailto:dkitaev@cchgeu.ru)

Olga Aleksandrovna Kutsygina, Dr. Sc. (Tech.), Professor, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(960)1139328; e-mail: [okuzygina@cchgeu.ru](mailto:okuzygina@cchgeu.ru)

---

When determining the volumes of natural gas received by the consumer, it is necessary to bring the meter readings to standard conditions. In this case, it is necessary to take into account the value of the natural gas compressibility factor under standard and operating conditions. Modern reference data and the recommended minimum value for the application of equations of state of real gases is limited to 250K, but in practice, actual values may be significantly lower. Errors in the use of substitute values of the compressibility factor affect the calculation of the final volumes of natural gas. The article presents the results of calculating the compressibility factor of natural gas of the estimated composition using two equations of state that take into account real properties in the temperature range of 223,15...303,15 K and pressures of 0,1...0,6 MPa used for gas supply to consumers of the housing and communal complex. We propose an equation that allows calculating the compressibility factor of natural gas of the estimated composition depending on the pressure and temperature in the considered range with high accuracy.

**Keywords:** public utilities; gas supply; gas consumption; real gas; compressibility coefficient.

## REFERENCES

1. **Kutsygina O., Chugunov A., Agafonova M., Serebryakova I.** *Mechanism for managing the costs of fuel and energy resources in the process of operating urban infrastructure facilities.* In the collection: Energy management of municipal facilities and sustainable energy technologies. collection of papers based on the materials of the XXI International Scientific Conference. Voronezh. 2020. Pp. 41-51. (in Russian)
2. **Kutsygina, O., Agafonova M., Chugunov A., Serebryakova I.** *Cost management for fuel and energy resources in the creation and operation of urban infrastructure.* Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021. Vol. 1258. Pp. 553-565.
3. **Ganiev R. I., Kutovoy D. Yu., Fafurin V. A., Shustrova M. L., Yavkin V. B.** *Influence of errors in determining the compressibility coefficient on the result of measuring natural gas consumption at low temperatures.* South Siberian Scientific Bulletin. 2023. No. 4(50). Pp. 16-21. DOI: 10.25699/SSSB.2023.50.4.001. (in Russian)
4. **Sheludko L. P., Gulina S. A., Goryunova I. Yu., Vlasov G. V.** *Gas cooling unit for compressor shops of main gas pipelines.* Bulletin of Samara State Tech. University. Series: Technical sciences. 2018. No. 1 (57). Pp. 117-127. (in Russian)
5. **Kutovoy D. Yu., Ganiev R. I., Shustrova M. L., Yavkin V. B., Fafurin V. A.** *Experimental study of the applicability of methods for determining the compressibility coefficient of natural gas in the low temperature region.* Omsk Scientific Bulletin. 2024. No. 2(190). Pp. 163-170. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-190-163-170. (in Russian)
6. **Kuptsova E. S., Kuptsov S. M.** *Recommendations for adjusting the methods for assessing the thermodynamic properties of natural gas.* Territory of Oil and Gas. 2022. No. 1-2. Pp. 70-74. (in Russian)
7. **Khvorov G. A., Yumashev M. V.** *Analysis of energy-saving gas cooling technologies based on air cooling units in gas transportation of PJSC Gazprom.* Territory of OIL AND GAS. 2016. No. 9. Pp. 127-132. (in Russian)
8. **Kutovoy D. Yu., Ganiev R. I., Fafurin V. A., Shustrova M. L., Yavkin V. B.** *Methodology for determining the compressibility coefficient of natural gas.* Intelligent systems in production. 2023. Vol. 21. No. 4. Pp. 4-10. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-4-10. (in Russian)
9. **Sukharev M. G., Samoilov R. V., Kritinina A. S.** *Natural gas compressibility coefficient: comparison of approximations and selection criteria.* Automation and informatization of the fuel and energy complex. 2023. No. 1(594). Pp. 42-54. DOI: 10.33285/2782-604X-2023-1(594)-42-54. (in Russian)
10. **Schley P., Beck M., Uhrig M., Sarge S. M., Rauch J., Haloua F.** *Measurements of the calorific value of methane with the new SERG reference calorimeter.* Int. J. Thermophys. 2010. 31(4-5). Pp. 665-679.
11. **Ganiev R. I., Kutovoy D. Yu., Fafurin V. A., Shustrova M. L., Yavkin V. B.** *Assessment of the applicability of the equations of state of natural gas in the low-temperature region.* Intelligent systems in production. 2023. Vol. 21. No. 3. Pp. 4-10. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-3-4-10. (in Russian)
12. **Kutovoy D. Yu., Shustrova M. L., Fafurin V. A., Yatsenko I. A., Ganiev R. I., Minnegaliev L. V., Yavkin V. B.** *Natural gas compressibility coefficient in the low temperature region.* Gas industry. 2024. No. 7(868). Pp. 48-53. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-190-163-170. (in Russian)
13. **Kunz O., Klimeck R., Wagner W., Jaeschke M.** *The GERG-2004 wide-range equation of state for natural gases and other mixtures* [Electronic resource] GERG Technical Monograph. 2007. Vol. 6. No. 557. Access mode: [http://www.gerg.eu/public/uploads/files/publications/technical\\_monographs/tm15\\_04.pdf](http://www.gerg.eu/public/uploads/files/publications/technical_monographs/tm15_04.pdf)

(14.06.2024).

14. **Kunz O., Wagner W.** *The GERG-2008 wide-range equation of state for natural gases and other mixtures: An expansion of GERG-2004.* Journal of Chemical & Engineering Data 2012. No. 57. Pp. 3032-3091.

15. **Kunz O., Klimeck R., Wagner W., Jaeschke M.** *The GERG-2004 wide-range equation of state for natural gases and other mixtures.* Groupe europeen de recherches gazieres. Tech. Monograph No.GERG TM15 (2007). 535p., also printed as fortschritt-berichte 6 no. 557 (2007).

16. **Jaeschke M., Humphreys A. E.** *The GERG Databank of High Accuracy Compressibility Factor Measurements.* GERG Technical Monograph. 1991. Vol. 6. No. 251. Access mode: [http://www.gerg.eu/public/uploads/files/publications/technical\\_monographs/tm4\\_91.pdf](http://www.gerg.eu/public/uploads/files/publications/technical_monographs/tm4_91.pdf)

17. **Kitaev D. N., Ievleva E. V.** *Certificate of state registration of computer program No. 2024665126. Program for calculating the physical properties of natural gas based on data on density under standard conditions and the content of nitrogen and carbon dioxide / Application No. 2024663738. Date of receipt: June 17, 2024. Registered in the Registry of Computer Programs on June 27, 2024. (in Russian)*

*Received 15 November 2024*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Китаев, Д. Н.** Расчет коэффициента сжимаемости природного газа в системах коммунального газоснабжения / Д. Н. Китаев, О. А. Куцыгина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 35-42. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.004.

**FOR CITATION:**

**Kitaev D. N., Kutsygina O. A.** *Calculation of the compressibility coefficient of natural gas in municipal gas supply systems.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 35-42. DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.004. ( in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.005

УДК 628.144

## ПРОБЛЕМЫ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ СТОЛИЦЫ БУРУНДИ Г. БУЖУМБУРА

**Нсенгийумва Жан Поль, В. И. Щербаков**

Нсенгийумва Жан Поль, аспирант кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(977)187-70-38; e-mail: nsenpaul@gmail.com

Щербаков Владимир Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(980)345-99-00; e-mail: vshcherbakov@cchgeu.ru

В статье рассмотрены основные причины, по которым система водоснабжения города Бужумбура находится в проблемном состоянии. В связи с этим представляется актуальной разработка подхода, направленного на анализ функционирования сети и на предложение адекватных решений при создании взаимосвязей участков сети для обеспечения большей надежности обслуживаемого сектора системы водоснабжения. Вопрос выбора рационального решения этой проблемы является весьма актуальным, поскольку многие городские кварталы имеют перерыв в подаче воды, причем количество подаваемой воды в отдельных коммунах не пропорционально количеству жителей, а некоторые потребители получают воду с интервалом в один или несколько дней. Процесс урбанизация и рост населения оказывают значительное влияние на водные ресурсы. Несмотря на инициативы, предпринятые компанией REGIDESO, отвечающей за подготовку и распределение питьевой воды, ситуация с водоснабжением до сих пор не решена. В статье предпринимается попытка анализа проблемы снабжения Бужумбуры питьевой водой, выявления причин нестабильности и недостаточности водоснабжения, предлагаются технические решения для устранения основных возникших проблем, и прогнозируется будущее состояние городской водопроводной сети Бужумбуры, не только путем реконструкции водораспределительной сети, но и путем внесения структурных изменений в топологию сети с целью повышения качества водоснабжения в будущем. Планируется преобразовать существующую тупиковую сеть в кольцевую, а также установить еще один водозаборный пункт на озере Танганьика, чтобы устранить существующий дефицит воды для потребителей.

**Ключевые слова:** система водоснабжения; кольцевая сеть; тупиковая сеть; ветхие трубы.

В городе Бужумбура, столице Бурунди, уже около тридцати лет существует коммунальная инфраструктура, которая постепенно деградирует, а её объекты имеют существенные повреждения, полученные во времена политической нестабильности Республики Бурунди (1993...2005 гг.). Гражданская война оказала разрушительное воздействие на городскую систему водоснабжения, после её окончания доступ населения к питьевой воде снизился с 70 % в 1993 году до 48 % в 2015 году, что привело к неравномерному распределению воды, добываемой из озера Танганьика для обслуживания населения Бужумбуры. Сеть водоснабжения нуждается в реконструкции и поддержании её в нормальном рабочем состоянии [1].

Благодаря генплану города с сетями водоснабжения, имеющегося в компании REGIDESO, и полевым изысканиям, относящимся к существующему оборудованию и сооружениям, удалось собрать данные о различных компонентах распределительной сети питьевой воды в городе Бужумбура. Анализ доступных планов позволил выяснить историю водопроводной сети и состояние магистральных и распределительных трубопроводов.

© Нсенгийумва Жан Поль, Щербаков В. И., 2024

Большая часть воды для города забирается из озера Танганьика и перекачивается на очистные сооружения, расположенные в 1 км от источника водоснабжения. Существующая водораспределительная сеть является тупиковой (рис. 1), её общая протяжённость составляет приблизительно 1 431,87 км, она состоит из труб разного диаметра от 50 мм до 900 мм, изготовленных из различных материалов с преобладанием труб из ПВХ (поливинилхлорида). Таким образом, вода перекачивается и очищается, а затем распределяется по городу. Сеть разделена на три сектора: северный, центральный и южный.

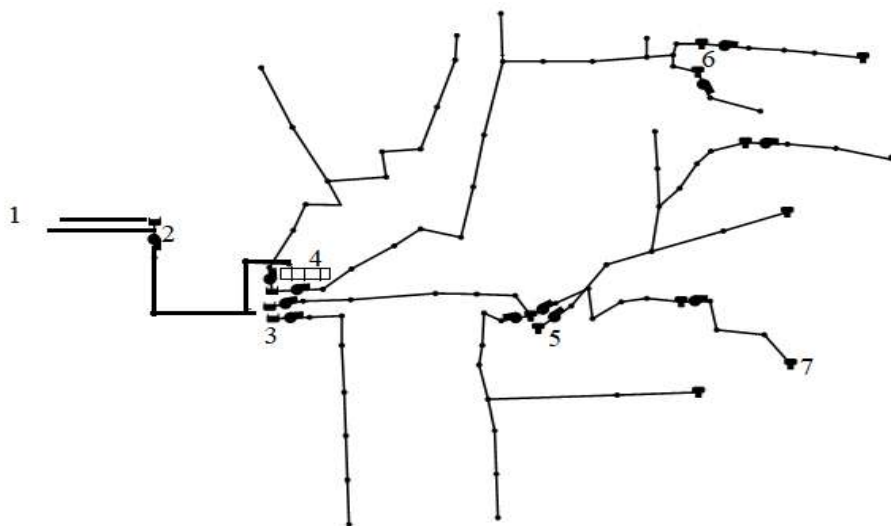


Рис.1. Схема магистральных сетей водопровода в городе Бужумбура:

1 – источник воды; 2 – насосная станция первого подъема; 3 – насосная станция второго подъема; 4 – очистные сооружения; 5, 6 – насосная станция третьего подъема; 7 – резервуары чистой воды

Как показано на схеме (рис. 1) водопроводная сеть Бужумбуры является тупиковой, вода движется в одном направлении – от источника до потребителей. Тупиковая система является самой короткой по протяженности, но менее надежной относительно бесперебойной подачи воды. В случае аварии на одном из участков магистрали аварийный участок отключается для ремонта, который занимает от одного до двух дней, в связи с чем все участки, расположенные за аварийным, не могут быть обеспечены водоснабжением.

Вследствие вышесказанного предлагается преобразовать тупиковую сеть в кольцевую (рис. 2). В таких сетях трубопроводы образуют один или несколько замкнутых контуров – колец. Благодаря кольцеванию каждый участок получает питание от двух или нескольких линий, что значительно повышает надежность работы сети и создает ряд других преимуществ. Кольцевые сети обеспечивают бесперебойное водоснабжение даже в случае аварии на отдельных участках: при отключении только аварийного участка, подача воды на другие линии сети не прекращается [2, 3, 4].

В системе водоснабжения функционируют 64 резервуара для хранения воды емкостью от 100 до 3800 м<sup>3</sup> и шесть насосных станций. Вода перекачивается из резервуаров в водонапорные башни, а затем самотеком поступает в водопроводную сеть для обслуживания населения. Некоторые участки трубопроводов городской сети весьма старые и изношенные. В целом система функционирует плохо, а потери воды в сети довольно высоки. Считается, что такая ситуация связана с тем, что трубопроводы сети и оборудование находятся в ветхом состоянии. При проектировании, строительстве и эксплуатации системы водоснабжения, действующие правила Республики Бурунди требуют соблюдения стандартов Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), что достигается, в частности, мониторингом качества воды.

В настоящее время анализ ситуации с водоснабжением в г. Бужумбура выявил такие проблемы, как потери давления и снижение расхода воды в водопроводных трубах. Мно-

гие стальные трубы не защищены от коррозии. Примерно 21 % воды теряется во внутренних сетях из-за старения системы водоснабжения, отсутствия надлежащего оборудования (обнаружение и устранение утечек), коррозии и износа труб. Например, водопроводные трубы прокладываются по всему городу без предварительного гидравлического расчета. Насосные станции и резервуары находятся в плохом состоянии из-за отсутствия технического обслуживания и ремонта [5, 6].

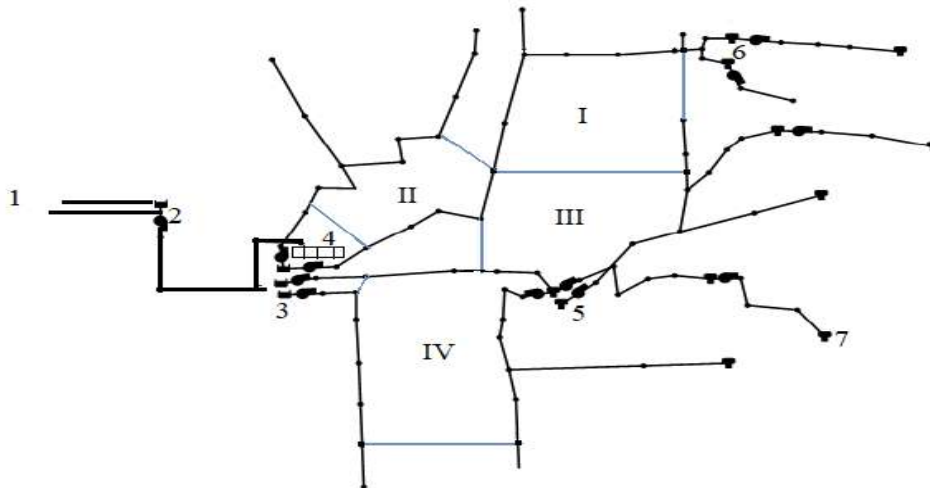


Рис. 2. Схема за кольцевых магистральных сетей водопровода:

1 – источник воды; 2 – насосная станция первого подъема; 3 – насосная станция второго подъема; 4 – очистные сооружения; 5, 6 – насосная станция третьего подъема; 7 – резервуары чистой воды

В 1980 году, когда система питьевого водоснабжения была введена в эксплуатацию, мощность производимой в день воды была достаточной для обеспечения населения, проживающего в существующих районах Бужумбуры, в то время прогнозы делались только до 2005 года с предполагаемой численностью населения 497166 человек, а в настоящее время население увеличилось более чем в два раза.

В 1993 году доступ населения к источникам питьевой воды был круглосуточным. После окончания войны в 2005 году количество новых кварталов на севере и юге столицы значительно увеличилось, при этом не было разработано планов урбанизации и проектов по водоснабжению.

Городская административная система Бужумбуры разделена на три отдельные подсистемы: (коммуна Нтахангва), центральная (коммуна Муха) и южная (коммуна Муказа).

Следует отметить, что в некоторых районах менее 50 % населения имеет доступ к питьевой воде, режим подачи которой часто бывает прерывистым: вода доступна только в определенное время и может быть отключена на несколько суток. По оценкам исследователей, многие жители города Бужумбуры не имеют удовлетворительного доступа к питьевой воде как по количеству, так и по её качеству [7, 8]. Ситуация становится все более тревожной особенно на окраинах Бужумбуры, где население может не получать воды даже до 3-х дней. Эта нехватка во многом обусловлена ростом близлежащих городов, загрязнением озера Танганьика вследствие эрозии, вызванной дождевыми, а также сточными водами с предприятий промышленности и кустарных промыслов, которые напрямую сбрасываются в озеро без предварительной очистки. Все это приводит к высокой степени мутности воды, достигающей 17,5 единиц, в то время как по стандартам ВОЗ она не должна превышать 5 единиц мутности, чтобы быть легко очищаемой [10, 11].

В Бужумбуре существует восемь очистных сооружений суточной производительностью 150 000 м<sup>3</sup> воды, характеризующейся высокой степенью мутности. Очистке подвергаются только 80 000 м<sup>3</sup> воды в сутки. Состояние воды, подаваемой населению без очистки,

характеризуется достаточно высокой степенью мутности, однако весь город вынужден использовать такую воду. Количество потребляемой воды из поверхностных источников постоянно увеличивается (табл. 1).

Таблица 1

| Год                 | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011      | 2012   |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
| м <sup>3</sup> /год | 2 666  | 25 935 | 27 588 | 27 704 | 28 763 | 28 698 | 28 692    | 27 031 |
| Год                 | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019      | 2020   |
| м <sup>3</sup> /год | 28 632 | 33 391 | 36 679 | 37 822 | 37 126 | 35 037 | 35 605 47 | 35 216 |

Поскольку водораспределение должно удовлетворять потребности всех жителей Бужумбуры, то введен режим нормирования питьевой воды. В настоящее время существует несколько временных интервалов по частоте подачи воды. Назначение временного интервала зависит от типа агломерации, численности её населения и объёма воды, направляемого в определенную коммуну. Особенно сильный дефицит воды испытывают две коммуны в центральной части Бужумбуры: Муха на юге и Нтахангва на севере.

Для Бурунди стандарты Всемирной организации здравоохранения рекомендуют потребление воды в количестве 150 л/сут. на каждого жителя, проживающего в столице.

Потребности в питьевой воде по коммунам представлены в табл. 2 [12].

Таблица 2

| Название коммуны | Общая численность населения | Суточное водопотребление (м <sup>3</sup> ) |
|------------------|-----------------------------|--|
| Нтахангва        | 586 446                     | 87 966,90                                  |
| Муказа           | 295 072                     | 44 260,80                                  |
| Муха             | 306 000                     | 45 900                                     |
| Всего            | 1 187 518                   | 178 127,70                                 |

Данные табл. 2 показывают, что если все домохозяйства в городских коммунах Бужумбуры будут подключены к водопроводной сети REGIDESO, то суточное потребление воды составит 178 127,70 м<sup>3</sup> [6]. Однако, такое соотношение не гарантирует соблюдения гигиенических стандартов. По этой причине компания разработала программу распределения воды, основанную на системе нормирования питьевой воды, существовавшей до нормализации. Интервалы доставки воды потребителям различны, в некоторых районах вода подается круглосуточно, в других – только в дневное время, а в некоторых – по 12 часов через двое или трое суток [7].

Учитывая, что текущая суточная производительность очистных сооружений составляет 80 000 м<sup>3</sup>/сут., а потребление на одного человека – 67,37 л, то существует её дефицит: 82,63 л/сут. на одного человека. Как уже отмечалось, для реального комфорта минимальное количество, рекомендуемое ВОЗ, составляет 150 литров на человека в день, или 178 127,70 м<sup>3</sup>/сут. на все население столицы. Очевидно, что минимальное потребление питьевой воды, распределяемой в Бужумбуре водопроводной компанией, ниже минимального среднего уровня, рекомендованного ВОЗ. Количество абонентов, подключенных к централизованному водоснабжению представлен в табл. 3.

Анализ табл. 3 показывает, что процент населения, пользующегося услугами водопроводной сети компании REGIDESO в городе Бужумбура, очень низок. Он вырос с 40,05 % в 2012 году до 49,52 % в сентябре 2022 года. Такой низкий уровень водопотребления можно объяснить ветхостью сети, авариями и частыми отключениями.

Таблица 3

## Уровень водопотребления абонентами г. Бужумбура за 2012...2022 годы

| Годы                         | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019    | 2020    | 2021    | 2022    |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Количество абонентов         | 59553  | 65422  | 70866  | 76650  | 97732  | 105632 | 106510 | 107142  | 114856  | 115488  | 116010  |
| Общее население              | 743515 | 759901 | 776258 | 792504 | 808533 | 824315 | 839854 | 918 737 | 1001578 | 1087129 | 1187518 |
| Уровень потребления воды (%) | 40,05  | 43,05  | 45,65  | 48,36  | 60,44  | 64 ,07 | 62,87  | 58,31   | 57,34   | 53,36   | 48,85   |

Действительно, несмотря на проекты восстановления и расширения сети, на ряде участков сети в коммунах Нтахангва и Муха недостаточно количества воды, подаваемой в сеть с водозаборных сооружений.

Нерегулярное водоснабжение не стимулирует абонентов к подключению к городской сети. Только в коммуне Муказа число потребителей, пользующихся услугами водопровода компании, относительно выше по сравнению с другими коммунами. Концессионер, оказывающий услуги по распределению питьевой воды, побуждает домовладельцев подключаться к централизованной сети. Однако, существующие сети не могут обеспечить требуемое количество воды, что ограничивает возможность подключения новых абонентов.

### Заключение.

На основе проведённого анализа состояния системы водоснабжения в Бужумбуре, показано, что минимальное потребление питьевой воды, подаваемой населению, ниже среднего уровня, рекомендованного ВОЗ. В настоящее время дефицит воды на одного жителя составляет 82,63 л/сут.

Проанализированы и выявлены наиболее важные проблемы водоснабжения, включая степень мутности и недостаточную производительность водопровода. Предлагается разработать и построить новые водозаборы, производительность которых должна основываться на будущих демографических прогнозах и реконструкции водопроводной сети из тупиковой в кольцевую, увеличить количество городских водоразборных колонок.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Нгуен, Х. К.** Проблемы водоснабжения крупных городов Вьетнама / Х. К. Нгуен, В. И. Щербаков // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2015. – № 2. – С. 49-56.

2. **Гудков, А. Г.** Моделирование и оптимизация водопроводной сети центрального района города Сыктывкара / А. Г. Гудков, А. И. Безрукова // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 3(13) – С. 39- 43.

3. **Дронова, К. П.** Возможности ДЗЗ на основе космоснимков для решения проблемы дефицита питьевой воды в Индии / К. П. Дронова, С. А. Ширали, А. К. Наравас // Евразийское Научное Объединение. – 2020. – № 4-7(62). – С. 458-460.

4. **Журба, М. Г.** Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. Т. 3. Системы распределения и подачи воды / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова – Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 408 с.

5. **Vertommen, I.** Optimization of Water Network Topology and Pipe Sizing to Aid Water Utilities in Deciding on a Design Philosophy: A Real Case Study in Belgium / I. Vertommen, D. Mitrovic, K. V. Laarhoven, P. Piens, M. Torbeys // Water. – Vol. 14. – Issue 23. – 2022. – Pp. 3973. – <https://doi.org/10.3390/w14233973>.



6. **Vertommen, I.** Optimal Design of and Transition towards Water Distribution Network Blueprint / I. Vertommen, K. Laarhoven, P. Thienen, C. Agudelo-Vera, T. Haaijer, R. Diemel // 3rd EWaS International Conference on «Insights on the Water-Energy-Food Nexus», Lefkada Island, Greece, – 2018. – Vol. 2. – Pp. 584. – <https://doi.org/10.3390/proceedings2110584>.

7. **Калицун, В. И.** Гидравлика, водоснабжение и канализация: учебное пособие для вузов. – 4-е изд. перераб. и доп. / В. И. Калицун, В. С. Кедров, Ю. М. Ласков. – Москва: Стройиздат, 2004. – 397 с.

8. **Абрамов, Н. Н.** Расчет водопроводных сетей: учебное пособие для вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. / Н. Н. Абрамов, М. М. Пospelова, В. Н. Варапаев, Д. Х. Керимов, М. А. Сомов. – Москва: Стройиздат, 1976. – 304 с.

9. Проблемы водоснабжения г. Хошимин и пути их решения / В. И. Щербаков, Х. К. Нгуен, В. Ш. Нгуен, Н. Т. Нгуен, Х. М. Ч. Нгуен // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. – 2016. – № 1. – С. 160. – 164.

10. **Shcherbakov, V. I.** Water supply problems in Hochiminh city and solutions / V. I. Shcherbakov, V. I. Nguyen, V. S. Nguyen // Proceedings the third scientific conference. Effective management of natural resources and environment for green growth. Hochiminh University of Natural resources and Environment. – 2016. – № 3. – Pp. 61-68.

11. **Панов, М. Я.** Модели управления функционированием систем подачи и распределения воды: монография / М. Я. Панов, Ю. Ф. Петров, В. И. Щербаков. – Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2012. – 272 с.

12. **Щербаков, В. И.** Городской водопровод: монография. – Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2000. – 240 с.

13. Оптимальный синтез гидравлических трубопроводных систем в области оперативного управления / Г. Н. Мартыненко, М. Я. Панов, В. И. Щербаков, И. П. Давыдова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2004. – № 2(542). – С. 78-83.

*Поступила в редакцию 29 октября 2024*

## **PROBLEMS OF THE CURRENT WATER SUPPLY SYSTEM IN BUJUMBURA CITY, THE CAPITAL OF BURUNDI**

**Nsengiyumva John Paul, V. I. Shcherbakov**

---

John Paul Nsengiyumva, postgraduate student of the Department of Hydraulics, Water Supply and Sewerage, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(977)187-70-38; e-mail: nsenpaul@gmail.com  
Vladimir Ivanovich Shcherbakov, Dr. Sc. (Tech.), Professor at the Department of Hydraulics, Water Supply and Sewerage, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(980)345-99-00; e-mail: vshcherbakov@cchgeu.ru

---

The article considers the main reasons why the water supply system of Bujumbura city is in a problematic state. In this regard, it seems relevant to develop an approach aimed at analyzing the functioning of the network and to propose proper solutions in the creation of interconnections of network sections to ensure greater reliability of the served sector of the water supply system. The issue of choosing a rational solution to this problem is very relevant, since many urban neighborhoods have interruption in water supply, and the amount of water supplied in some communes is not proportional to the number of inhabitants, also, some consumers receive water with an interval of one or several days. The process of urbanization and population growth have a significant impact on water resources. Despite the initiatives taken by REGIDESO, the company which is responsible for the preparation and distribution of drinking water, the water supply issue is still up in the air. This article attempts to analyze the drinking water supply problem in Bujumbura. We tend to identify the causes of instability and insufficient water supply, propose technical solutions to eliminate the main problems

encountered, and predict the future state of Bujumbura's urban water supply network. We try to do that not only by reconstructing the water distribution network, but also by making structural changes to the network topology in order to improve the quality of water supply in the future. It is planned to convert the existing dead-end network into a ring network and to install another water intake point at Lake Tanganyika to eliminate the existing water deficit for consumers.

**Keywords:** water supply system; ring network; dead-end network; rundown pipes.

## REFERENCES

1. **Nguyen H. K., Shcherbakov V. I.** *Problems of water supply to large cities in Vietnam.* Scientific Bulletin of Voronezh State Agrarian University. Construction and architecture. 2015. No. 2. P. 49-56. (in Russian)
2. **Gudkov A. G., Bezrukova A. I.** *Modeling and optimization of the water supply network of the central region of the city of Syktyvkar.* Bulletin of the Volgograd State University. Series: Technical Sciences. 2021. Pp. 39-43. (in Russian)
3. **Dronova K. P., Shirali S. A., Naravas A. K.** *Possibilities of remote sensing based on satellite images to solve the problem of drinking water shortage in India.* // Eurasian Scientific Association. 2020. No. 4-7(62). Pp. 458-460. (in Russian)
4. **Zhurba M. G., Sokolov L. I., Govorov Zh. M.** *Water supply. Design of systems and structures. Vol. 3. Water distribution and supply systems.* Moscow, Publishing House of the Association of Construction Universities. 2010. 408 p. (in Russian)
5. **Vertommen I., Mitrovic D., Laarhoven K. V., Piens P., Torbeyns M.** *Optimization of Water Network Topology and Pipe Sizing to Aid Water Utilities in Deciding on a Design Philosophy. A Real Case Study in Belgium.* Water. Vol. 14 Issue 23. 2022. Pp. 3973 <https://doi.org/10.3390/w14233973>.
6. **Vertommen I., Laarhoven K., Thienen P., Agudelo-Vera C., Haaijer T., Diemel R.** *Optimal Design of and Transition towards Water Distribution Network Blueprints.* 3rd EWaS International Conference on Insights on the Water-Energy-Food Nexus. Lefkada Island, Greece. 2018. Vol. 2. Pp. 584. <https://doi.org/10.3390/proceedings2110584>.
7. **Kalitsun V. I., Kedrov V. S., Laskov Y. M.** *Hydraulics, water supply and sewerage: Textbook. manual for universities.* Moscow, Publishing House Stroyizdat. 2004. 397 p. (in Russian)
8. **Abramov N. N., Pospelova M. M., Varapaev V. N., Kerimov D. Kh., Somov M. A.** *Calculation of water supply networks. Textbook manual for universities.* Moscow, Publishing House Stroyizdat. 1976. 304 p. (in Russian)
9. **Nguyen H.K.** *Problems of water supply in Ho Chi Minh City and ways to solve them.* Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: High technologies. Ecology. 2016. No. 1. Pp. 160-164. (in Russian)
10. **Shcherbakov V. I., Nguyen V. I., Nguyen V. S.** *Water supply problems in Hochiminh city and solutions.* Proceedings of the third scientific conference. Effective management of natural resources and environment for green growth. Hochiminh University of Natural Resources and Environment. 2016. No. 3. Pp. 61-68.
11. **Panov M. Ya., Petrov Yu. F., Shcherbakov V. I.** *Models for controlling the functioning of water supply and distribution systems.* Voronezh State Agrarian University. Voronezh. 2012. 272 p. (in Russian)
12. **Shcherbakov V. I.** *City water supply.* Voronezh. Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. 2000. 240 p. (in Russian)
13. **Martynenko G. N., Panov M. Ya., Shcherbakov V. I., Davydova I. P.** *Optimal synthesis of hydraulic piping systems in the field of operational control.* News of higher educational institutions. Construction. 2004. No. 2(542). Pp. 78-83. (in Russian)

*Received 29 October 2024*

**Для цитирования:**

**Нсенгийумва Жан Поль.** Проблемы существующей системы водоснабжения столицы Бурунди г. Бужумбура / Нсенгийумва Жан Поль, В. И. Щербаков // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 43-50. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.005.

**FOR CITATION:**

**Nsengiyumva John Paul, Shcherbakov V. I.** *Problems of the current water supply system in Bujumbura city, the capital of Burundi.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 43-50. DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.005. ( in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.006

УДК 628.12

## ПРИЧИНЫ СНИЖЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СКВАЖИННЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

И. Ю. Пурусова

Пурусова Ирина Юрьевна, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(910)249-29-85; e-mail: vps\_na@list.ru

Описаны проблемы использования подземных вод как источника водоснабжения. Основное внимание уделено производительности скважинных насосов в системах водного хозяйства. Показана схема исследуемой действующей водоподъёмной станции первого подъёма, состоящей из линейного ряда скважин, подключённых к сборному водоводу, уложенному в одну нитку. Такая схема является наиболее распространённой в существующей практике организации водозабора из подземных источников. Представлены обобщённые значения удельных дебитов водозаборных скважин с начала их эксплуатации, марки установленных насосов, а также произошедшие изменения с момента ввода в эксплуатацию водоподъёмной станции первого подъёма. На основе фактических характеристик взаимодействующих элементов системы на действующей водоподъёмной станции первого подъёма приведены последствия понижения динамического уровня воды для скважинного насоса. Приведённые исследования показали, что допустимое понижение уровня воды в скважинах необходимо устанавливать таким, чтобы обеспечивалась стабильная работа насосного оборудования, при постоянном дебите. Даны рекомендации для предупреждения снижения дебита скважины.

**Ключевые слова:** водозаборная скважина; скважинный насос; динамический уровень воды; удельный дебит скважины.

Развитие системы водоснабжения из подземных источников осуществляется на базе действующих водоподъёмных станций с использованием ранее освоенных источников [1...3]. В соответствии с нормативно-правовыми документами Российской Федерации водоподъёмные станции должны обеспечивать надёжный забор, подъём и подачу необходимого количества воды с требуемым напором в течении всего периода эксплуатации.

К проблемам использования подземных вод как источника водоснабжения относятся:

- ✓ ограниченный дебит водозаборных скважин;
- ✓ интенсивность отбора подземных вод;
- ✓ ограниченная территория водоносных горизонтов;
- ✓ отложение осадков и коррозия на элементах водозаборных сооружений.

В современных системах водного хозяйства актуальна задача поддержания производительности водозаборных скважин систем водного хозяйства России [4-6]. Соответственно необходимо более детальное изучение режима работы скважинных насосов на действующих водоподъёмных станциях [7...8].

ВПС (водоподъёмная станция) I подъёма является первым звеном в технологической схеме водоснабжения и включают в себя комплекс гидравлически взаимосвязанных инженерных элементов [9...11]. Самый распространённый вид водозаборов для добычи подземных вод – это водозаборные скважины.

Исследуемая действующая ВПС I подъёма состоит из линейного ряда скважин, подключённых к сборному водоводу, уложенному в одну нитку. На рис. 1 представлена схема расположения сооружений на ВПС I подъёма: водозаборные скважины с погружны-

ми насосами подающими воду в РПВ (резервуар питьевой воды), машинный зал, также указано направление транспортировки воды на ВПС II подъёма для очистки и дальнейшей подачи потребителю.

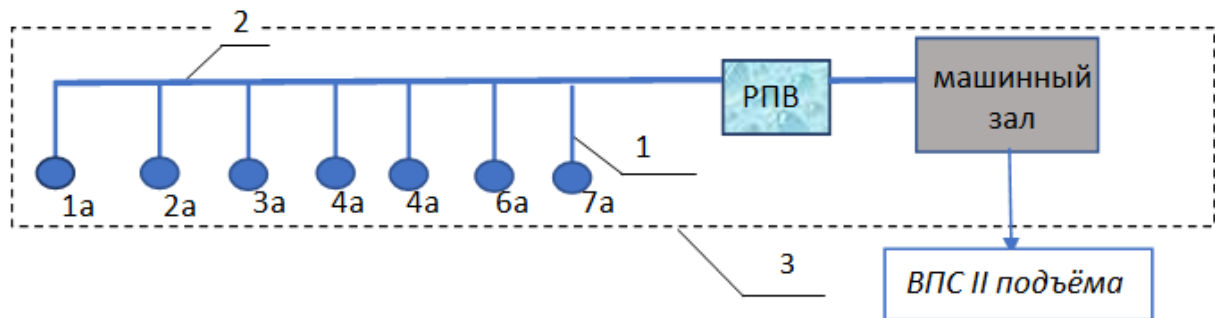


Рис. 1. Схема действующей водоподъемной станции:  
1 – скважины с погружными насосами; 2 – сборный водовод; 3 – ВПС I подъёма

Скважины расположены перпендикулярно направлению потока подземных вод. Такая схема является наиболее распространённой в практике строительства и эксплуатации ВПС I подъёма.

На действующей ВПС I подъёма в водозаборных скважинах, установлены центробежные погружные насосы ЭЦВ (электрический центробежный вертикальный) [12...14] изготовленные отечественными производителями. Подача воды осуществляется по водоподъемной колонне, затем по напорному трубопроводу далее транспортируется в сборный водовод, расположенный на территории ВПС I подъёма. На рис. 2 показана водозаборная скважина с установленным оборудованием и гидрогеологический разрез по линии исследуемых скважин. Подземные воды содержатся в водоносном пласте, представленном песком с галькой. Насосный агрегат подсоединяется к водоподъемной колонне напорным патрубком.

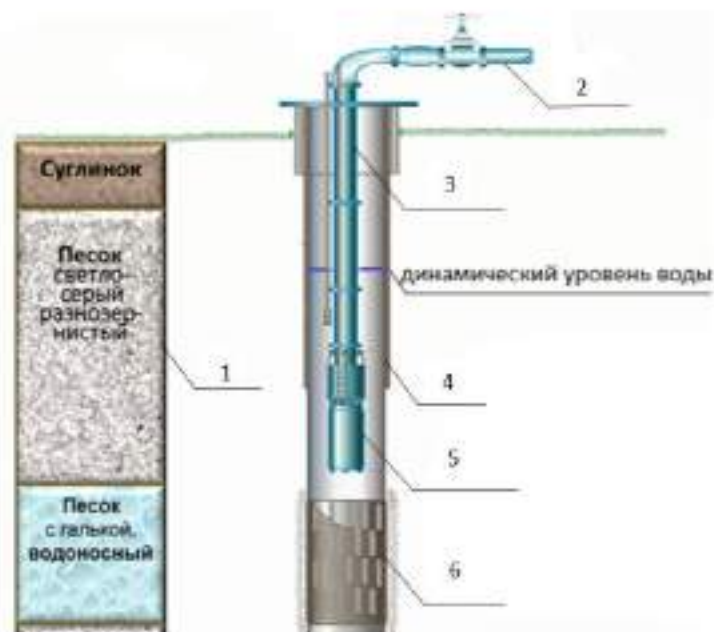


Рис. 2. Водозаборная скважина с гидрогеологическим профилем:  
1 – гидрогеологический профиль скважины; 2 – напорный трубопровод; 3 – водоподъемная колонна;  
4 – обсадная колонна; 5 – погружной скважинный насосный агрегат; 6 – фильтр скважины

Цель работы – определение причин снижения производительности скважинных насосов с момента ввода их в работу на основе закономерности снижения удельного дебита.

Водозаборная скважина характеризуется своей производительностью и допустимым уровнем понижения воды в течение всего срока эксплуатации. По гидрогеологическим условиям залегания водоносного горизонта перед пуском в работу погружного насосного оборудования скважины определяется её максимальный дебит, согласно проектным и расчётным данным. При выборе водоподъемного оборудования для скважины, определяющими значениями являются – дебит скважины, диаметр скважины, значение статического уровня [12...13].

Перед началом эксплуатации ВПС I подъёма насосы были погружены в скважины на 1...2 м ниже динамического уровня воды. В процессе функционирования на ВПС I подъёма фиксировали дебит одновременно работающих взаимодействующих скважин один раз в сутки. Режим работы ВПС I подъёма – на РПВ, станция функционирует круглосуточно, равномерно, без остановок. Все скважины во время исследования были в эксплуатации, в резерв не выводились. Фактически все элементы системы на действующей ВПС I подъёма взаимодействуют между собой.

Данные по производительности скважинных насосов взяты из ежегодных журналов учёта работы оборудования действующей ВПС I подъёма. Начало расчётного времени принято от момента пуска водозаборной скважины в работу. Измерение удельных дебитов на ВПС I подъёма производились по каждой водозаборной скважине несколько раз в год и фиксировались машинистами в журнале учёта параметров скважины.

Под удельным дебитом скважины  $q_t$ ,  $\text{м}^3/(\text{ч}\times\text{м})$ , принимается отношение производительности скважины к понижению (срезке) динамического уровня:

$$q_t = Q_n / (z_{\text{ст}} - z_{\text{дин}}), \quad (1)$$

где  $Q_n$  – производительность скважины;  $n$  – номер скважины;  $z_{\text{ст}}$  – статический уровень воды в скважине;  $z_{\text{дин}}$  – динамический уровень воды в скважине.

Изменения во времени работы оборудования на ВПС I подъёма с момента ввода в эксплуатацию скважин, а также удельный дебит скважин представлены в таблице 1.

При анализе значений удельного дебита водозаборных скважин во времени можно заметить, что происходит интенсивное уменьшение производительности установленного водоподъемного оборудования. Для предупреждения снижения дебита скважины рекомендуется ревизия насосов и водоподъемных колонн, механическая чистка и реагентная обработка скважин.

По данным замеров табл. 1 видно, что значительное понижение (срезка) динамического уровня воды ( $z_{\text{ст}} - z_{\text{дин}}$ ) в скважинах 1а, 2а и 6а достигли отметки установки насоса. Всасывающие отверстия насоса оказались выше уровня воды в скважине и воздух стал захватываться насосом через защитные сетки. Последствия такого завоздушивания насоса приводит к течениям в каналах фильтрующей части скважины и выносу песка, кавитации, помпажу, колебаниям, вибрации и в последствии поломки насоса, рис. 3.

Таблица 1

Характеристики работы оборудования и удельный дебит на ВПС I подъёма

| Номер скважины | Время эксплуатации скважины, лет | Марка погружных насосов ЭЦВ | Удельный дебит скважины, $q_t$ , $\text{м}^3/(\text{ч}\times\text{м})$ |                   | Изменения, произошедшие в период эксплуатации скважин |                  |
|----------------|----------------------------------|-----------------------------|--|-------------------|---|------------------|
|                |                                  |                             | в начале измерений   | в конце измерений | понижение динамического уровня, $z_{\text{дин}}$      | насосный агрегат |
| 1а             | 11                               | 10-120-60                   | 20,5   | 5                 | $z_{\text{дин}}$ стремится к отметке установки насоса | ЭЦВ 10-120-60    |

Окончание табл. 1

| Номер скважины | Время эксплуатации скважины, лет | Марка погружных насосов ЭЦВ | Удельный дебит скважины, $q_i$ , м <sup>3</sup> /(ч×м) |                   | Изменения, произошедшие в период эксплуатации скважин |   |
|----------------|----------------------------------|-----------------------------|--|-------------------|---|---|
|                |                                  |                             | в начале измерений                                     | в конце измерений | понижение динамического уровня, $z_{дин}$             | насосный агрегат  |
| 2а             | 9                                | 10-120-60                   | 24   | 7,5               | $z_{дин}$ стремится к отметке установки насоса        | ЭЦВ 10-120-60   |
| 3а             | 8                                | 10-120-60                   | 18   | 8                 | $z_{дин}$ допустимое                                  | подача снизилась в 1,5 раза; замена насоса на ЭЦВ 8-40-60                   |
| 4а             | 4                                | 10-120-60                   | 24   | 12,5              | $z_{дин}$ допустимое                                  | подача снизилась в 1,5 раза замена насоса на ЭЦВ 10-63-65                   |
| 5а             | 10                               | 10-120-60                   | 20   | 6,5               | $z_{дин}$ допустимое                                  | подача снизилась в 1,5 раза, замена насоса на ЭЦВ 10-63-65                  |
| 6а             | 8                                | 10-120-60                   | 25   | 14                | $z_{дин}$ стремится к отметке установки насоса        | ЭЦВ 10-120-60   |
| 7а             | 9                                | 10-120-60                   | 20   | 11                | $z_{дин}$ допустимое                                  | Насос заглублен на 2 м ниже проектной отметки в фильтровальную зону фильтра |

При значительном увеличении потерь в фильтре скважины понижается динамический уровень воды, что приводит к падению напора на входе в насос и уменьшению производительности. Поскольку регулирующим элементом на входе в насос становится фильтр и прифильтровая зона скважины, то режим работы погружного насоса переходит по характеристике в область малых подач. Для предотвращения поломок частей или узлов насосного агрегата его опускают ниже проектной отметки, то есть увеличивают глубину забоя. В итоге сокращаются эксплуатационные сроки службы прифильтровой части водозаборной скважины. Для предупреждения захвата воздуха насосом необходимо устанавливать гарантийный запас уровня воды для безкавитационной работы агрегата не менее 3 м. Контролировать датчиками уровня с выводом сигнала на пульт управления ВПС.

При отсутствии возможности провести мероприятия по увеличению глубины забоя, насосный агрегат демонтируют и устанавливают другой с меньшей производительностью. Такие мероприятия создают дополнительные материальные затраты на ВПС I подъёма.

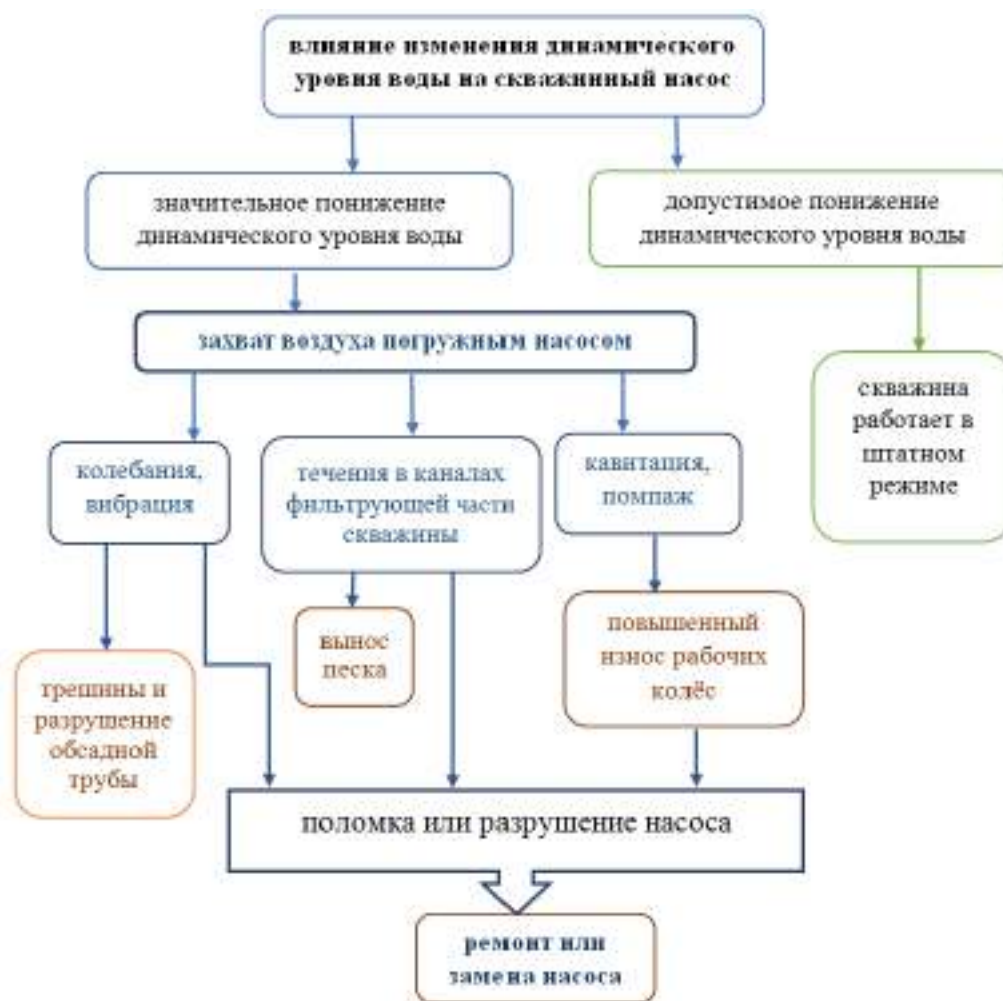


Рис. 3. Последствия понижения динамического уровня воды для скважинного насоса на ВПС I подъёма

### Заключение.

Проанализированы закономерности уменьшения удельного дебита при функционировании водоподъёмного оборудования на действующей ВПС I подъёма на основе данных рабочих журналов. Последствия уменьшения удельного дебита привели к снижению производительности скважинных насосов по сравнению первоначальными значениями. Для предотвращения поломок насосов ЭЦВ вынуждено увеличена глубина забора на действующей ВПС I подъёма. Установлены агрегаты с меньшей производительностью, там самым снижена подача всей ВПС.

Полученные результаты исследования работы ВПС I подъёма показали, что допустимое понижение динамического уровня воды в скважинах необходимо устанавливать таким, чтобы обеспечивалась стабильная работа насосного оборудования, при постоянном дебите.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Карелин, В. Я.** Насосы и насосные станции / В. Я. Карелин, А. В. Минаев. – Москва: Бастет, 2010. – 448 с.
2. **Чупин, В. Р.** Обоснование строительства нового водозабора в г. Бодайбо иркутской области на основе стоимости его жизненного цикла / В. Р. Чупин, А. А. Бобер // Градостроительство: теория, практика, образование. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции. – Иркутск, 2023. – С. 243-248.



3. **Али, М. С.** Насосные станции. Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / М. С. Али, Д. С. Бегляров, П. А. Михеев. – Новочеркасск: ООО «Лик», 2022. – 176 с.
4. **Еловик, В. Л.** Особенности режимов работы насосных станций водозаборных сооружений подземных вод, систем канализации и комбинированных систем водоснабжения / В. Л. Еловик // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2020. – № 1(229). – С. 242-248.
5. **Фисенко, В. Н.** Оценка энергоэффективности насосов в системах водоснабжения / В. Н. Фисенко // Яковлевские чтения. XIII Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева. – Москва: Московский государственный строительный университет, 2018. – 116-123 с.
6. **Али, М. С.** Особенности расчета переходных процессов в водоводах насосных станций в условиях образования разрывов сплошности потока / М. С. Али, Д. С. Бегляров, Э. Е. Назаркин // Природообустройство. 2020. – № 4. – С. 122-128.
7. **Пурусова, И. Ю.** Эксплуатация действующих насосных станций: учебно-методическое пособие / И. Ю. Пурусова. – Воронеж: ВГТУ, 2023. – 66 с.
8. **Николенко, И. В.** Анализ энергетической эффективности силовых агрегатов насосных станций систем водоснабжения и водоотведения по удельным показателям / И. В. Николенко // Строительство и техногенная безопасность. – 2020. – № 18(70). – С. 143-148.
9. **Щербаков, В. И.** Выбор расположения сооружений для забора подземных вод / В. И. Щербаков, И. Ю. Пурусова // Яковлевские чтения XIII Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева. – Москва: Московский государственный строительный университет, 2018. – С. 140-144.
10. **Щербаков, В. И.** Анализ совместной работы водозаборных сооружений из подземных источников / В. И. Щербаков, И. Ю. Пурусова // Тезисы IV Крымской Международной научно-практической конференции «Методология безопасности среды жизнедеятельности». – Симферополь-Судак, 2017. – С. 85.
11. **Панов, М. Я.** Разработка математической модели управления функционированием водоподъемной станции / М. Я. Панов, И. Ю. Пурусова, В. И. Щербаков // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1. – С. 176-182.
12. **Изотова, Т. В.** Исследование рабочих характеристик центробежного погружного насоса систем внутреннего и внешнего водоснабжения специальных сооружений / Т. В. Изотова // Двойные технологии. – 2019. – № 1(86). – С. 33-37.
13. **Пурусова, И. Ю.** Сокращение затрат потребляемой электроэнергии на водозаборных сооружениях из подземных источников // И. Ю. Пурусова / Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2021» // материалы XIII Международной научно-практической конференции. Новочеркасск. – 2021. – С. 43-48.
14. **Delgado, J.** Variable speed operation of centrifugal pumps running as turbines / J. Delgado, J. P. Ferreira, D. I. Covas, F. Avellan // Experimental investigation. Renewable energy. – 2019. – Vol. 142. – 437 p.

*Поступила в редакцию 28 октября 2024*

## **REASONS OF DECREASE IN PRODUCTIVITY OF WELL PUMPS IN WATER MANAGEMENT SYSTEMS**

**I. Yu. Purusova**

---

Irina Yurievna Purusova, Cand. Sc. (Tech.), Assistant Professor at the Department of Hydraulics, Water Supply and Sewerage, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(910)249-29-85; e-mail: vps\_na@list.ru

---

The article describes the problems of using groundwater as a source of water supply. The main attention is paid to the performance of borehole pumps in water management systems. I show the scheme of the operating water lifting station of the first lift, which is being described here. It consists of a linear series of wells connected to a prefabricated water conduit laid in one line. This scheme is the most common in the existing practice of organizing water intake from underground sources. The paper presents generalized values of specific flow rates of water intake wells from the beginning of their operation, brands of installed pumps, as well as changes that have occurred since the commissioning of the first lift water station. Based on the actual characteristics of the interacting elements of the system at the operating water lifting station of the first lift, I present the consequences of lowering the dynamic water level for the borehole pump. The study has shown that the permissible lowering of the water level in wells must be set in such a way as to ensure stable operation of pumping equipment at a constant flow rate. I also recommend how to prevent a decrease in the flow rate of the well.

**Keywords:** water intake well; well pump; dynamic water level; specific yield of bore well.

## REFERENCES

1. **Karelin V. Ya., Minaev A.V.** *Pumps and pumping stations*. Moscow, Bastet. 2010. 448 p. (in Russian)
2. **Chupin V. R., Beaver A. A.** *Justification of the construction of a new water intake in Bodaibo, Irkutsk region, based on the cost of its life cycle*. In the collection: Urban planning: theory, practice, education. Materials of the V All-Russian scientific and practical conference. Irkutsk. 2023. Pp. 243-248. (in Russian)
3. **Ali M. S., Beglyarov D. S., Mikheev P. A.** *Pumping stations. Textbook for students of institutions of higher professional education*. Novocherkassk. Lik LLC. 2022. 176p. (in Russian)
4. **Yelovik V. L.** *Features of operating modes of pumping stations of groundwater intake structures, sewerage systems and combined water supply systems*. Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, biotechnology, geocology. 2020. № No. 1(229). Pp. 242-248. (in Russian)
5. **Fisenko V. N.** *Evaluation of the energy efficiency of pumps in water supply systems*. In the collection: Yakovlev readings XIII International Scientific and Technical Conference dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences S.V. Yakovlev. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering. 2018. Pp. 116-123 p. (in Russian)
6. **Ali M. S., Beglyarov D. S., Nazarkin E. E.** *Features of the calculation of transients in the pipelines of pumping stations in conditions of formation of discontinuities of the flow*. Nature management. 2020. No. 4. Pp. 122-128. (in Russian)
7. **Purusova I. Yu.** *Operation of existing pumping stations. Educational and methodical manual*. Voronezh, VSTU. 2023. 66p. (in Russian)
8. **Nikolenko I. V.** *Analysis of the energy efficiency of power units of pumping stations of water supply and sanitation systems by specific indicators*. Construction and technogenic safety. 2020. No. 18(70). Pp. 143-148. (in Russian)
9. **Shcherbakov V. I., Purusova I. Y.** *The choice of the location of structures for groundwater intake*. In the collection: Yakovlev readings XIII International Scientific and Technical Conference dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences S. V. Yakovlev. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering. 2018. Pp. 140-144. (in Russian)
10. **Shcherbakov V. I., Purusova I. Y.** *Analysis of the joint work of water intake structures from underground sources*. Abstracts of the IV Crimean International Scientific and Practical Conference Methodology of environmental safety. Simferopol-Sudak. 2017. 85 p. (in Russian)

11. **Panov M. Ya., Purusova I. Y., Shcherbakov V. I.** *Development of a mathematical model for controlling the operation of a water lifting station.* Scientific Journal. Engineering systems and structures. 2009. No. 1. Pp. 176-182(in Russian)
12. **Izotova T. V.** *Investigation of the performance characteristics of a centrifugal submersible pump for internal and external water supply systems of special structures.* Dual technologies. 2019. No. 1(86). Pp. 33-37. (in Russian)
13. **Purusova I. Yu.** *Reducing the cost of electricity consumed at water intake facilities from underground sources.* In the collection: TECHNOVOD-2021 Water purification technologies. materials of the XIII International Scientific and Practical Conference. Novochoerkassk. 2021. Pp. 43-48. (in Russian)
14. **Delgado J., Ferreira J. P., Covas D.I., Avellan F.** *Variable speed operation of centrifugal pumps running as turbines.* Experimental investigation. Renewable energy. 2019. Vol. 142. 437 p.

*Received 28 October 2024*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Пурусова, И. Ю.** Причины снижения производительности скважинных насосов в системах водного хозяйства / И. Ю. Пурусова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 51-58. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.006.

**FOR CITATION:**

**Purusova I. Yu.** *Reasons of decrease in productivity of well pumps in water management systems.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 51-58. DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.006. ( in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.007

УДК 628.144.22

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

**В. В. Помогаева, Д. С. Голубова**

Помогаева Валентина Васильевна, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: vromogaeva@cchgeu.ru

Голубова Дарья Сергеевна, магистрант кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: darina.golubova@bk.ru

Рассматриваются особенности проектирования водопроводной сети в условиях Крайнего Севера, а также современные технологии и подходы, позволяющие эффективно решать задачи водоснабжения в сложных условиях. Целью работы является выполнение гидравлического расчета водопроводной сети, определение возможности возникновения отказов. Основным методом является моделирование режима работы водопроводной сети при разных режимах ее работы, моделирование гидравлического удара в магистральной сети. Объектом исследования является кольцевая водопроводная сеть длиной 4,7 км. На примере водопроводной сети для поселка с числом жителей 4 тыс. человек, рассмотрены и смоделированы режимы работы, выявлены проблемные участки. Предложен вариант увеличения диаметров кольцевой водопроводной сети. Приведены основные параметры для гидравлического расчета и расчетные схемы водопроводной сети. Показана схема участка водопровода при моделировании гидравлического удара в магистральной сети. Определены основные параметры при совместной работе насосов и трубопроводов. Обосновано увеличение диаметров водопроводной сети, что необходимо для соблюдения режима работы в случае возникновения пожара в разных расчетных узлах.

**Ключевые слова:** водопроводные сети; гидравлический расчет; гидравлический удар; моделирование.

Обеспечение надежного доступа к воде является критически важным аспектом жизнедеятельности населения северных регионов. Существуют определённые особенности проектирования систем водоснабжения в условиях Крайнего Севера, требующие применения современных технологий и подходов, позволяющих эффективно решать задачи водоснабжения в условиях вечной мерзлоты.

Целью работы является выполнения гидравлического расчета водопроводной сети, определение возможности возникновения отказов в работе сети. В качестве примера для исследования проблем водоснабжения в условиях Крайнего Севера был рассмотрен строящийся поселок для общего количества жителей 4 тысячи человек с вахтовым проживанием для работы в газодобывающей отрасли.

Крайний Север представляет собой уникальные условия для жизни и работы людей. Суровый климат, вечная мерзлота, удаленность от крупных населенных пунктов и ограниченная инфраструктура создают серьезные вызовы при проектировании инженерных систем, включая системы водоснабжения и водоотведения. Проектирование инженерных коммуникаций в северных регионах имеет свою специфику, обусловленную суровыми климатическими условиями этих территорий [1, 2]. Эти области занимают 64 % площади всей страны, что говорит об актуальности исследуемой проблемы.

В связи с интенсивными температурными процессами в мерзлоте практически все трубопроводы приходится прокладывать над землей или на глубине более 6 метров под

землей [3, 4]. При подземной прокладке, вокруг труб образуется ореол промерзания, если ниже труб находится талый грунт, то трубопровод может быть разрушен силами «нормального пучения» [5]. При прокладке трубопроводов над землей следует использовать опоры, эстакады, конструктивные элементы зданий. Также важно предусматривать специальные приспособления для обслуживания труб с учетом эксплуатации в условиях низких температур, сильных ветров и полярных ночей. При строительстве главной проблемой является «процесс растепления» вечномерзлых грунтов [6]. Это предполагает за собой дополнительные мероприятия и затраты при строительстве сетей в данных условиях.

При разработке проектов трубопроводов для предотвращения замерзания транспортируемой воды используются такие методы, как подогрев труб и воды, тепловая изоляция, постоянное движение воды в трубах, увеличение гидродинамического трения в трубах, установки автоматического слива воды, использование оборудования, устойчивого к замерзанию [1, 6].

Важнейшая проблема при проектировании и расчетах по сложности – геокриологические условия, что требует совершенствования подходов к проектированию, строительству и эксплуатации. При строительстве необходимо использовать термостабилизацию многолетнемерзлой почвы в зонах застройки, сооружение фундаментов с использованием специальных анкерных свай для большей устойчивости. Ограниченный доступ к строительным материалам и оборудованию, а также высокая стоимость доставки увеличивают затраты на реализацию проектов водоснабжения. При проектировании, в районах вечной мерзлоты, необходимо использовать трехмерное геологическое и гидрологическое моделирование. При прокладке труб под землей, возникает два вида нагрузок: от высоты слоя грунта над трубой и при изменении напора при движении воды в трубах. Проектирование трубопроводов на эстакадах, в районах вечной мерзлоты, требует предварительного моделирования случаев возникновения нагрузок от снега, ветра, перепада температур, разрыва цепи при обогреве труб, изменения гидравлических характеристик труб при эксплуатации. Все эти параметры определяют эффективность работы водопроводных сетей и учитывались при гидравлическом расчете и проектировании сетей водоснабжения строящегося поселка.

В геологическом строении проектируемого объекта присутствуют отложения, представленные суглинками, глинами, супесями, песками пылеватыми. Сверху они перекрыты биогенными отложениями (торфом), техногенными грунтами. В геокриологическом отношении площадка находится в области сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов, мерзлота сливающегося типа. Грунты слоя сезонного оттаивания – торф, суглинки и супеси. Нормативная глубина сезонного оттаивания грунтов изменяется от 1,4 до 1,6 м. Температура многолетнемерзлых грунтов на глубине 10 м изменяется от минус 1,8 °С до минус 2,0 °С.

Предусматривается кольцевая водопроводная сеть, которая представляет систему смежных замкнутых колец без тупиковых участков. Кольцевая система отличается большей надежностью относительно тупиковой сети, так как обеспечивает бесперебойность подачи воды потребителям в случае возникновения аварии на сети. Наличие тупиковых участков приводит к замерзанию и застаиванию воды. Для определения основных параметров водопроводной сети выполняется гидравлический расчет. Одной из важных частей проектирования системы водоснабжения является определение гидравлических закономерностей, определяющих эффективность работы водопроводных сетей и сооружений, а также систем водоподдачи [7, 8].

Одной из основных задач гидравлического расчета системы водоснабжения является определение диаметров трубопроводов, при расчетном расходе и оптимальной скорости движения воды, с учетом гидравлических закономерностей распределения потоков в кольцевом трубопроводе. Отличительной особенностью водопроводной сети, запроектированной на эстакадах, являются практически одинаковые высотные отметки узлов, ниве-

лирующие перепады рельефа. В условиях вечной мерзлоты возможно применение только стальных труб, так как в зимний период необходимо предусматривать их обогрев.

При подборе диаметров учитываются расходы при режиме максимального водопотребления и назначаются диаметры по большему из расходов. Одним из главных условий является возможность пропуска расхода воды при режиме пожаротушения. Выполнение этого условия, приводит к увеличению диаметров водопроводной сети [9, 10], что экономически необоснованно, но необходимо для пожарной безопасности [11].

Проектирование водопроводной сети для поселка с числом жителей 4 тысячи человек выполнено для двух характерных режимов: максимальное водопотребление и максимальное водопотребление с учетом возникновения пожара. Для хозяйственно-питьевого водопотребления населения определялись среднесуточные расходы воды, которые составляют: для первого района 225 м<sup>3</sup>/сут с числом жителей 1500 человек, для второго 362,5 м<sup>3</sup>/сут с числом жителей 2500 человек. Максимальное водопотребление составляет 248,86 м<sup>3</sup>/сут и 411,97 м<sup>3</sup>/сут, минимальное – 202,5 м<sup>3</sup>/сут и 326,25 м<sup>3</sup>/сут. Схема водопроводной сети поселка с расчетными узлами и длинами показана на рис. 1.

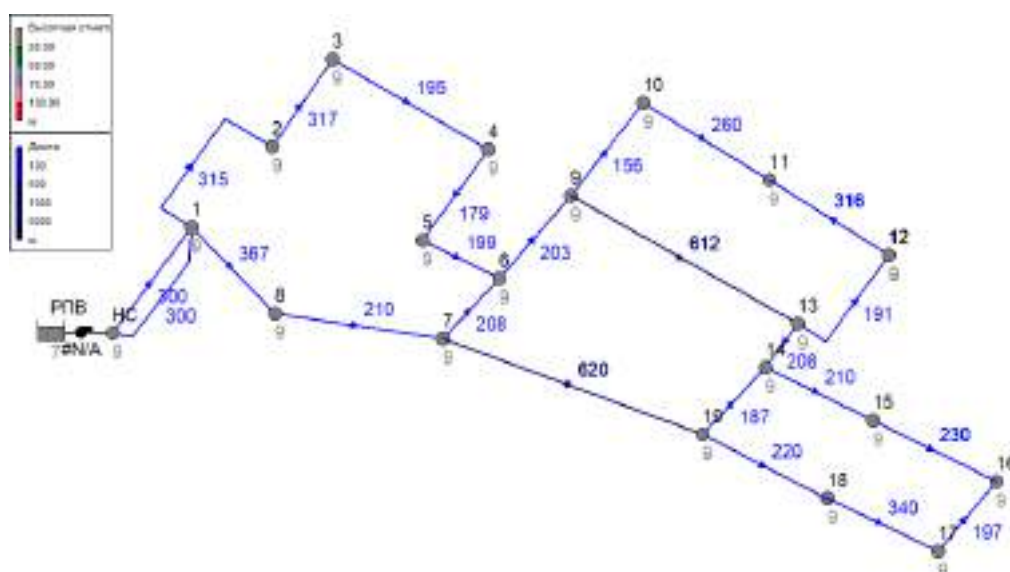


Рис. 1. Схема водопроводной сети с расчетными узлами

Удельные расходы воды для каждого района определяются в зависимости от режима работы сети, расходов воды на хозяйственно-питьевые нужды населенного пункта. Для каждого района отдельно вычислена суммарная длина линий, участвующих в распределении воды в магистральной сети. В расчете учитываются сосредоточенные расходы, определенные для медпункта, столовой, гостиницы, административных зданий. Определение диаметров труб водопроводной сети и водоводов выполняется в соответствии с величинами расходов на каждом участке для принятого потокораспределения в каждом расчетном режиме.

Гидравлические закономерности, определяющие эффективность работы водопроводных сетей, определялись при моделировании диаметров трубопроводов. Моделирование позволяет оптимизировать итерации при гидравлическом расчете, проводить многовариантный анализ на основе различных сценариев работы кольцевой водопроводной сети, определять основные параметры водопроводной сети: диаметр, напор, скорости движения воды [12, 13]. С учетом максимального водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды достаточным является диаметр 100мм. Однако при таком диаметре не возможен пропуск расхода для пожаротушения, который для поселка составляет 40 л/с, и для промышленного предприятия, расположенного на территории поселка – 25,5 л/с. Поэтому

расчет магистральной сети выполнен для диаметра 150мм. Результаты моделирования показаны на рис. 2.

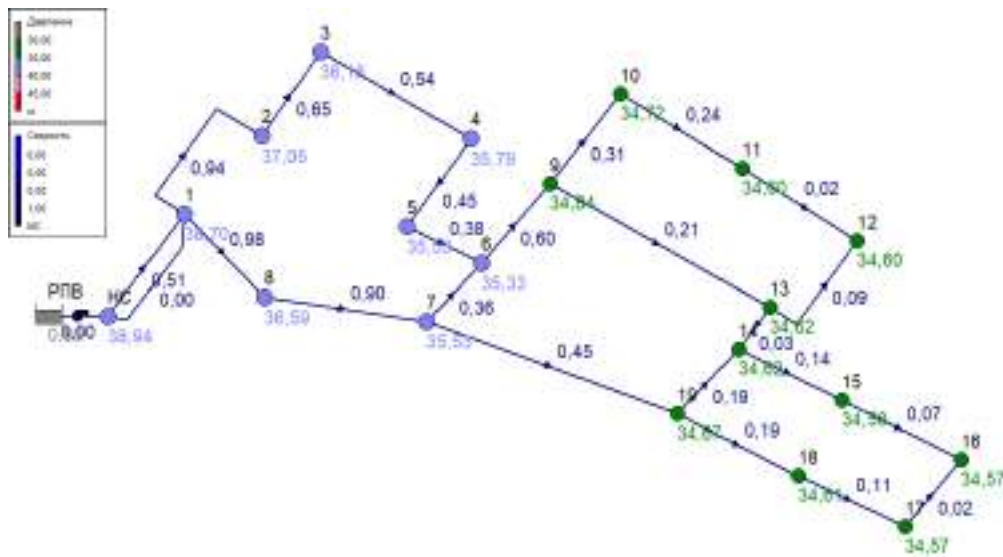


Рис. 2. Схема водопроводной сети с расчетными узлами при диаметре труб 150 мм

При моделировании работы водопроводной сети был рассмотрен режим пожаротушения при максимальном водопотреблении. Для случая возникновения пожара в любом расчетном узле (рис. 3 а, б,) выявлено, что участки трубопровода 1-8, 8-7 перегружены, скорости находятся в верхних пределах режима работы. При возникновении пожара в промышленном предприятии и любом узле выявлена проблема в трубопроводе 1-2 (в, рис. 3). Скорость движения воды превышает максимально допустимую. Для корректной работы водопровода, увеличиваются диаметры на перегруженных участках.

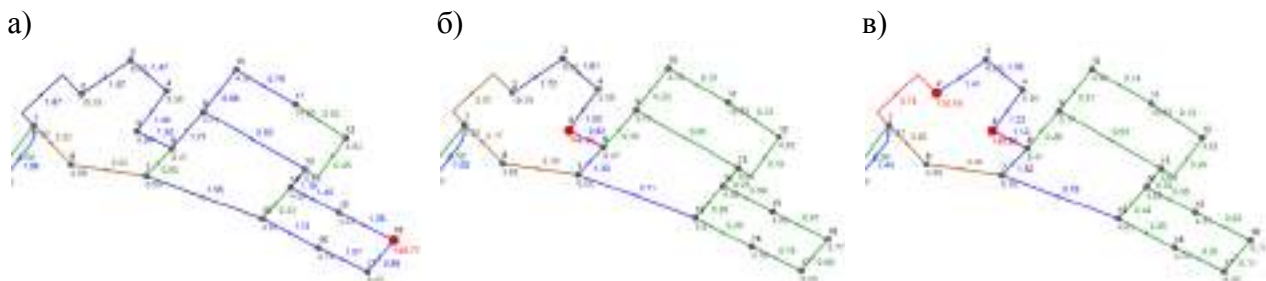


Рис. 3. Расчетные схемы водопроводной сети, с распределением скоростей в трубопроводах и расходом в узловых точках при диаметре труб 150мм:  
а – пожар в узле 16, б – пожар в узле 5, в – пожар в узлах 2 и 5

Схема трубопроводов с увеличенными диаметрами труб показана на рис. 4, а. При моделировании были увеличены диаметры труб до 200мм на участках 1-8, 8-7 и до 300 мм участок 1-2 (а, рис. 4). Проверочный расчет после увеличения диаметров показал, что в случае возникновения пожара в расчетном узле 5 и в промышленном предприятии – узел 2 (б, рис. 4) ранее перегруженные участки (1-2, 1-8, 8-7) работают в нормальном режиме. Давление в узловых точках не превышает нормативное, равное 45 м.

Еще одной актуальной проблемой при проектировании трубопроводов на эстакаде, является возникновение гидравлического удара. Прогнозирование гидравлического удара в трубопроводе является важным аспектом инженерной гидравлики [14, 15]. Гидравлический удар происходит при резком изменении скорости потока жидкости в трубе, что вызывает волну давления, способную нанести серьезные повреждения трубопроводу.

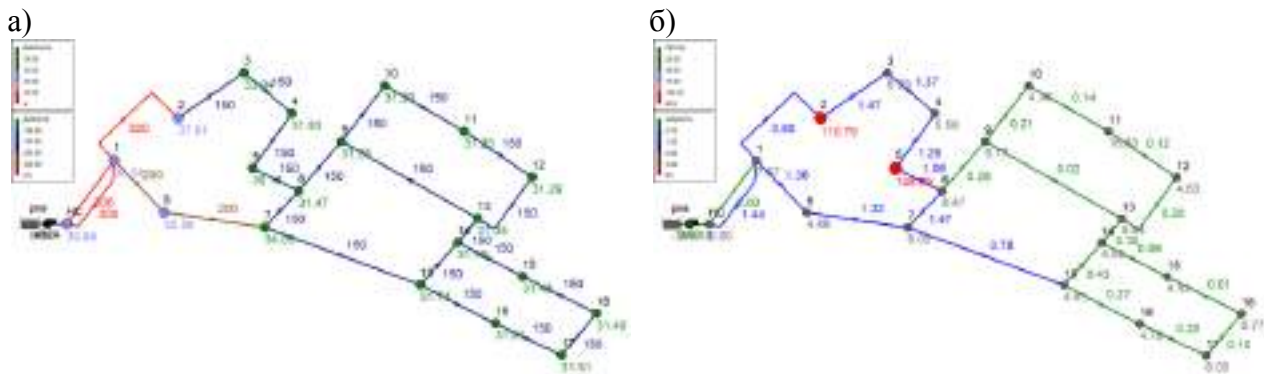


Рис. 4. Расчетные схемы водопроводной сети в случае возникновения пожара, при увеличении диаметра труб: а) схема с диаметрами и напором в узловых точках; б) схема с распределением скоростей в трубопроводах и расходом (м/с) в узловых точках

Для прогнозирования и предотвращения гидравлического удара используются специальные методы анализа, моделирования и расчета, учитывающие параметры потока, характеристики трубопровода и условия эксплуатации. Для рассматриваемого поселка моделирование и расчет выполнялся в программе «СТАРТ Проф». Были смоделированы случаи возникновения гидравлического удара для всей сети.

Для моделирования при номинальном давлении 1,6 МПа принят шаг опор 6 м. В результате в расчетной схеме определялись гидравлические характеристики для 99 расчетных точек. Пример размещения расчетных точек показан на рис. 5.

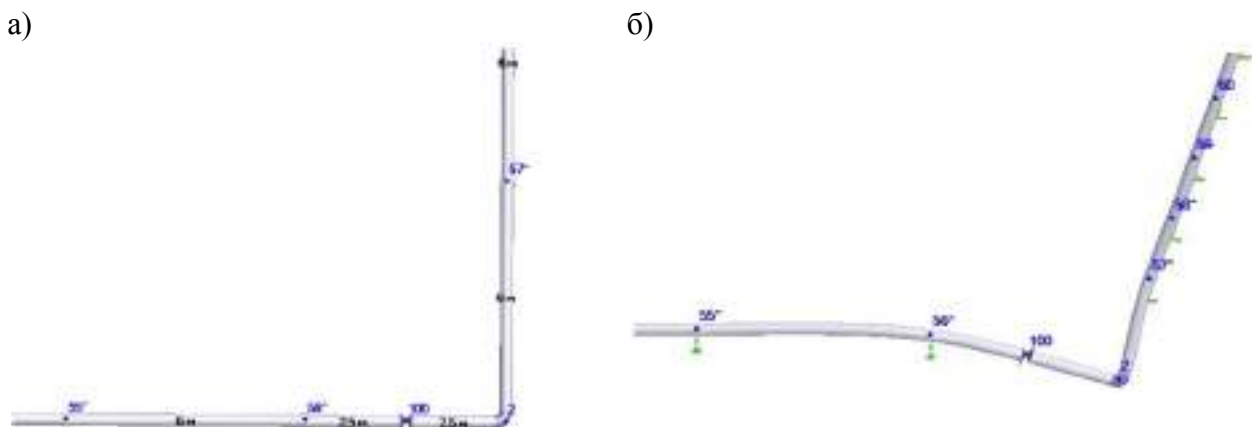


Рис. 5. Участок схемы водопровода (1-2, 2-3, узел 2) при определении гидравлического удара: а) трубопровод вне состояния гидравлического удара; б) трубопровод в состоянии гидравлического удара

К узлу 2 подает воду трубопровод с расчетными точками (54, 55, 56) расположенными на расстоянии 6 м друг от друга. От узла 2 отводит воду трубопровод с расчетными точками (57, 58, 59, 60 и т.д.). Для расчета были учтены сейсмические характеристики региона и климатические условия. Расчеты проводились в нескольких итерациях – в рабочем режиме трубопровода, режиме испытаний, с усилиями от ветра и снеговой нагрузки. Результаты расчетов некоторых участков (трубопровод 1-8 рис. 1) и проблемных точек, расположенных на расчетных участках (трубопровод 1-2, 2-3 рис. 1), показаны в табл. 1.

Для расчетной точки 54 условия прочности от силовых воздействий в рабочем состоянии не выполнены. Для расчетной точки 58 условия прочности не выполняются от всех воздействий в рабочем состоянии, от силовых воздействий и от всех воздействий в холодном состоянии.

Выявлены проблемные участки трубопровода (2-3, 3-4, 4-5) от узла 2 до узла 5, расчетные точки 54, 58 (табл. 1). Моделирование по участкам показано на рис. 5. При воз-



никновении гидравлического удара происходит смещение трубопровода, расположенного на эстакадах (рис. 5, б).

Таблица 1

## Результаты расчета кольцевой водопроводной сети

| Элемент               | Расчетные точки | Напряжение от силового воздействия в рабочем состоянии, (МПа) |            | Напряжение от всех воздействий в рабочем состоянии, (МПа) |            | Напряжение от всех воздействий в холодном состоянии, (МПа) |            | Размах напряжений, (МПа) |            |
|-----------------------|-----------------|---|------------|---|------------|--|------------|--------------------------|------------|
|                       |                 | расчетное   | допустимое | расчетное   | допустимое | расчетное  | допустимое | расчетное                | допустимое |
| Воздушный трубопровод | 1               | 25.21   | 209        | 35.19   | 285        | 27.76  | 285        | 40.98                    | 570        |
|                       | 5               | 25.21   | 209        | 35.19   | 285        | 27.76  | 285        | 40.98                    | 570        |
| Воздушный трубопровод | 5               | 25.12   | 209        | 34.85   | 285        | 27.41  | 285        | 40.33                    | 570        |
|                       | 6               | 25.12   | 209        | 34.85   | 285        | 27.41  | 285        | 40.33                    | 570        |
| Воздушный трубопровод | 52              | 35.61   | 209        | 32.03   | 285        | 25.66  | 285        | 18.32                    | 570        |
|                       | 53              | 76.01   | 209        | 65.28   | 285        | 61.57  | 285        | 20.02                    | 570        |
| Воздушный трубопровод | 53              | 76.01   | 209        | 65.28   | 285        | 61.57  | 285        | 20.02                    | 570        |
|                       | <b>54</b>       | <b>302.34</b>   | <b>209</b> | <b>250.11</b>   | <b>285</b> | <b>248.28</b>  | <b>285</b> | <b>22.27</b>             | <b>570</b> |
| Воздушный трубопровод | <b>54</b>       | <b>302.03</b>   | <b>209</b> | <b>248.29</b>   | <b>285</b> | <b>246.62</b>  | <b>285</b> | <b>20.46</b>             | <b>570</b> |
|                       | 55              | 77.87   | 209        | 65.11   | 285        | 61.66  | 285        | 17.46                    | 570        |
| Воздушный трубопровод | 55              | 77.87   | 209        | 65.11   | 285        | 61.66  | 285        | 17.46                    | 570        |
|                       | 56              | 55.31   | 285        | 55.88   | 361        | 20.68  | 285        | 24.41                    | 570        |
| Воздушный трубопровод | 56              | 55.31   | 285        | 55.88   | 361        | 20.68  | 285        | 24.41                    | 570        |
|                       | 100             | 56.59   | 285        | 57.57   | 361        | 24.24  | 285        | 28.61                    | 570        |
| Воздушный трубопровод | 100             | 56.29   | 285        | 57.35   | 361        | 23.44  | 285        | 29.17                    | 570        |
|                       | 2               | 52.61   | 285        | 54.39   | 361        | 10.37  | 285        | 33.27                    | 570        |
| Отвод гнутый          | 2               | 56.67   | 274.50     | 81.69   | 549        | 35.80  | Нет        | 148.58                   | 549        |
| Воздушный трубопровод | 2               | 51.92   | 285        | 53.77   | 361        | 6.18   | 285        | 32.89                    | 570        |
|                       | 57              | 131.01  | 209        | 108.12  | 285        | 106.03   | 285        | 17.19                    | 570        |
| Воздушный трубопровод | 57              | 131.01  | 209        | 108.12  | 285        | 106.03   | 285        | 17.19                    | 570        |
|                       | <b>58</b>       | <b>393.52</b>   | <b>209</b> | <b>324.34</b>   | <b>285</b> | <b>321.81</b>  | <b>285</b> | <b>32.58</b>             | <b>570</b> |
| Воздушный трубопровод | <b>58</b>       | <b>394.01</b>   | <b>209</b> | <b>326.36</b>   | <b>285</b> | <b>323.69</b>  | <b>285</b> | <b>35.23</b>             | <b>570</b> |
|                       | 59              | 124.46  | 209        | 106.32  | 285        | 102.16   | 285        | 26.75                    | 570        |
| Воздушный трубопровод | 59              | 124.46  | 209        | 106.32  | 285        | 102.16   | 285        | 26.75                    | 570        |
|                       | 60              | 52.27   | 209        | 29.15   | 285        | 20.46  | 285        | 20                       | 570        |

Исходя из результатов расчетов, было принято решение о необходимости увеличения диаметров для предотвращения гидравлического удара и на участке от узла 2 до узла 3, трубопроводы 1-2, 2-3 приняты диаметром 325×8. При повторном расчете на данный диаметр риск возникновения гидравлического удара становится минимальным.

Была выполнена проверка герметичности фланцевых соединений арматуры при максимально возможном давлении в трубе, равном 1,6 МПа. Длина арматуры принята 300мм, вес 62,45 кг, два одинаковых фланца. Таблица рядов соответствует ГОСТ 356-80 «Арматура и детали трубопроводов». При моделировании принято максимальное по всем состояниям напряжение (режим: «Наибольшие значения» программа «СТАРТ Проф»). Результаты моделирования задвижки (поз. 100) расположенной около узла 2 (рис. 5) показаны в табл. 2.

В результате проверки герметичности фланцевых соединений арматуры установлено, что существует запас прочности в 3,9 раз больше допустимого. По арматуре расположенной около остальных узлов результат аналогичный.

Таким образом, в результате гидравлического расчета и проверки возникновения гидравлических ударов, были увеличены диаметры на участках от насосной станции до расчетных узлов 7 и 5: участки 1-2, 2-3, до внутреннего диаметра 300мм, участки 1-8, 8-7, 3-4, 4-5 до внутреннего диаметра 200мм (рис. 6).

Таблица 2

## Проверка герметичности фланцевого соединения арматуры около узла 2

| Фланец со стороны узла 2 | Наружный диаметр трубы, (мм) | Осевая сила, Н | Изгибающий момент, Н·м | Давление, МПа |            |        |
|--------------------------|------------------------------|----------------|------------------------|---------------|------------|--------|
|                          |                              |                |                        | расчетное     | допустимое | %      |
| т. 56 (рис. 5)           | 325                          | 3432,33        | 20888.16               | 6.19          | 1.60       | 386.76 |
| 2                        | 325                          | 3432,33        | 20790.10               | 6.16          | 1.60       | 384.75 |

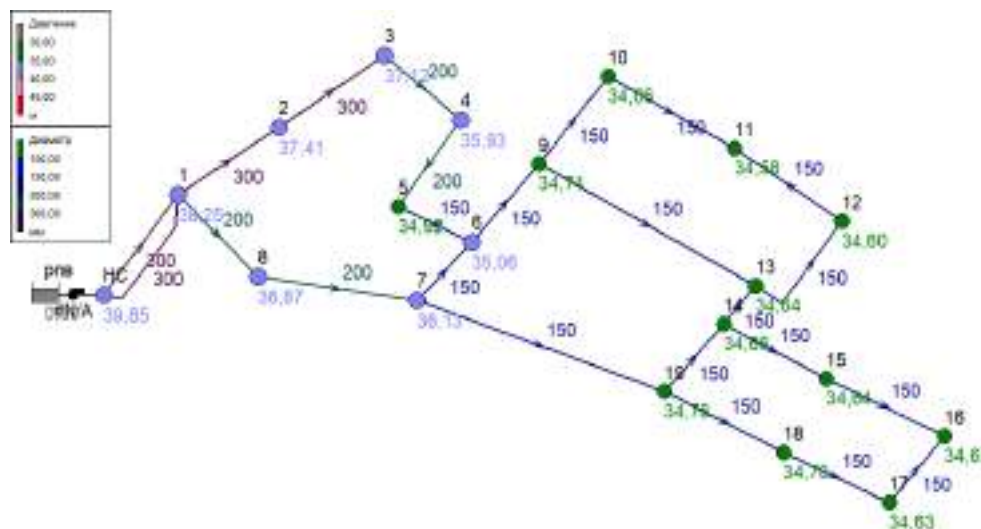


Рис. 6. Схема распределения диаметров водопроводной сети с учетом рекомендаций по результатам моделирования

В результате моделирования режимов работы и выполнения гидравлического расчета, с учетом климатических характеристик рассматриваемого района и особенностями размещения сети на эстакадах рекомендовано проводить расчет для всех точек соприкосновения трубы с опорами, для выявления возникновения гидравлических ударов и смещений трубопровода. Рассчитанная кольцевая водопроводная сеть обеспечит необходимое количество воды для жителей, коммунально-бытовых предприятий, промышленного предприятия. В случае возникновения пожара, магистральная сеть пропустит необходимый расход в любую точку поселка.

### Заключение.

Рассмотрен комплексный подход к проектированию и гидравлическому расчету магистральных сетей водоснабжения поселка в условиях вечной мерзлоты, который позволяет детально рассмотреть этапы расчета и моделирования.

Проведено моделирование кольцевой водопроводной сети в расчетных режимах работы при максимальном водопотреблении и режиме пожаротушения при максимальном водопотреблении, в результате которого обоснована необходимость увеличения диаметров в случае возникновения пожаров в любой точке поселка и промышленного предприятия.

Моделирование возникновения гидравлического удара проведено для всей водопроводной сети, в результате выявлен узел, в котором возникает гидравлический удар и изменение положения трубопровода на эстакаде. Для предотвращения смещения трубопровода и его разрушения рекомендовано увеличение диаметра после расчетного узла. Повторное моделирование показало правильность принятого решения.

Проведенное моделирование показало эффективность применения современных программных продуктов для гидравлического расчета и проектирования кольцевой водопроводной сети расположенной на эстакадах. Показано, что выбор необходимого диамет-

ра трубопровода зависит не только от расчетных расходов воды, но и от необходимости учета режима пожаротушения и мер, направленных на снижение гидравлических ударов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Геселько, А. М.** Проектирование систем водоснабжения и водоотведения в суровых климатических условиях Сибири / А. М. Геселько, И. Г. Ушакова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4(20). – С. 71-77.
2. **Выучейская, Д. С.** Проблемы водоснабжения и водоотведения в российской Арктике по результатам анализа научно-практических работ / Д. С. Выучейская, С. Н. Носков, Г. Б. Еремин // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. – 2019. – Т. 14. – № 1. – С. 235-241.
3. **Анастасьева, И. В.** Надземный способ прокладки инженерных коммуникаций в условиях Крайнего Севера / И. В. Анастасьева, В. И. Орехова // Современные инновации: фундаментальные и прикладные исследования: Сборник научных трудов по материалам VIII Международной научно-практической конференции. – Москва: Проблемы науки, 2018. – С. 9-11.
4. **Сметанина, М. В.** Особенности прокладки инженерных коммуникаций в условиях Крайнего Севера / М. В. Сметанина // Научный аспект. – 2023. – Т. 2. – № 12. – С. 209-218.
5. **Семенова, Д. П.** Прокладка трубопроводов в условиях вечной мерзлоты / Д. П. Семенова // Актуальные исследования. – 2020. – № 6(9). – С. 16-20.
6. **Лукоянов, Д. П.** Особенности прокладки трубопроводов в условиях вечной мерзлоты / Д. П. Лукоянов // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2024. – Т. 1. – С. 528-531.
7. **Помогаева, В. В.** Прикладные аспекты решения нелинейных уравнений в задачах гидравлического расчета / В. В. Помогаева // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 4-2(9-2). – С. 349-352. – DOI 10.12737/5183.
8. **Сайридинов, С. Ш.** Гидравлические и технологические основы эксплуатации систем водоснабжения в условиях Поволжья / С. Ш. Сайридинов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – № 3-1(33-1). – С. 106-116. – DOI 10.18323/2073-5073-2015-3-106-116.
9. **Щербаков, В. И.** Проблемы систем водоснабжения малых городов и сельских поселений / В. И. Щербаков, Е. В. Дроздов, В. В. Помогаева // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. – 2013. – № 1. – С. 38-42.
10. **Pomogaeva, V.** Water supply problems of the small settlements / V. Pomogaeva, O. Vasilyeva // E3S Web of Conferences : Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TRACSEE 2019, Moscow, 20–22 ноября 2019 года. Vol. 164. – Moscow: EDP Sciences, 2020. – Pp. 04019. – DOI 10.1051/e3sconf/202016404019.
11. **Люсов, Е. Ю.** Разработка рекомендаций по расчету систем подачи и распределения воды в противопожарном водоснабжении / Е. Ю. Люсов, В. Б. Бубнов, Д. С. Репин // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 20 апреля 2021 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия, 2021. – С. 215-218.
12. **Щербаков, В. И.** К вопросу гидравлического моделирования водопроводной сети с использованием программного комплекса WATERGEMS / WATERCAD / В. И. Щербаков, Х. К. Нгуен, В. З. Чан // Российский Инженер. – 2017. – Т. 3. – № 1(7). – С. 5-10.

13. **Орлов, В. А.** Анализ автоматизированных программ расчета водопроводных сетей в целях гидравлического моделирования при реновации трубопроводов / В. А. Орлов, И. А. Аверкеев // Вестник МГСУ. – 2013. – № 3. – С. 237-243.

14. **Антибас, И. Р.** Влияние температуры жидкости на скорость распространения гидравлической ударной волны в полиэтиленовых трубах / И. Р. Антибас, А. Г. Дьяченко, С. Б. Имад // Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). – 2021. – Т. 21. – № 4. – С. 319-327. – DOI 10.23947/2687-1653-2021-21-4-319-327.

15. **Сидлер, И. В.** О численном решении начально-краевой задачи для гиперболической системы в модели гидравлического удара / И. В. Сидлер // Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения (DYSC 2023): материалы 5-й Международной конференции. – Иркутск: Иркутский государственный университет, 2023. – С. 209-212.

Поступила в редакцию 13 ноября 2024

## HYDRAULIC CHARACTERISTICS DETERMINING THE EFFICIENCY OF WATER SUPPLY NETWORKS IN THE FAR NORTH

V. V. Pomogaeva, D. S. Golubova

---

Valentina Vasilyevna Pomogaeva, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Hydraulics, Water Supply and Sewerage, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(950)753-28-86+7(473) 207-22-20; e-mail: vpomogaeva@cchgeu.ru

Daria Sergeevna Golubova, Master's student at the Department of Hydraulics, Water Supply and Sewerage, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(950)753-28-86+7(473) 207-22-20; e-mail: darina.golubova@bk.ru

---

In the article we consider the issues of designing a water supply network in the conditions of the Far North, as well as modern technologies and approaches that make it possible to effectively solve water supply problems in difficult conditions. The purpose of the work is to perform a hydraulic calculation of the water supply network, to determine the possibility of failures in the network. The main method is to simulate the mode of operation of the water supply network under different modes of operation, modeling hydraulic shock in the main network. The object of the study is a ring water supply network with a length of 4.7km. Using the example of a water supply network for a village with a population of 4 thousand people, we considered operating modes and identified problem zones. We propose to increase the diameters of the ring water supply network. We as well give the main parameters for the hydraulic calculation of the water supply network and determine the main parameters for the joint operation of pumps and pipelines. Also, we determined the main parameters for the joint operation of pumps and pipelines. Besides, we justified the increase in the diameters of the water supply network, which is necessary to comply with the operating mode in the event of a fire in different calculation units.

**Keywords:** water supply networks; hydraulic calculation; hydraulic shock; modeling.

### REFERENCES

1. **Geselko A. M., Ushakova I. G.** *Design of water supply and sanitation systems in harsh climatic conditions of Siberia.* Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2015. № 4(20). Pp. 71-77. (in Russian).

2. **Vyucheyskaya D. S., Noskov S. N., Eremin G. B.** *Problems of water supply and sanitation in the Russian Arctic according to the results of the analysis of scientific and practical works.* Health - the basis of human potential: problems and ways to solve them. 2019. Vol. 14. No. 1. Pp. 235-241. (in Russian).

2. **Anastasyeva I. V., Orekhova V. I.** *Aboveground method of laying engineering communications in the conditions of the Far North*. Modern innovations: fundamental and applied research: A collection of scientific papers based on the materials of the VIII International Scientific and Practical Conference. Moscow, Problems of Science. 2018. Pp. 9-11. (in Russian).
3. **Smetanina M. V.** *Features of laying engineering communications in the conditions of the Far North*. Scientific aspect. 2023. Vol. 2. No. 12. Pp. 209-218. (in Russian).
4. **Semenova D. P.** *Laying pipelines in permafrost conditions*. Current research. 2020. No. 6(9). Pp. 16-20. (in Russian).
5. **Lukoyanov D. P.** *Features of pipeline laying in permafrost conditions*. Modern technologies in construction. Theory and practice. 2024. Vol. 1. Pp. 528-531. (in Russian).
6. **Pomogaeva V. V.** *Applied aspects of solving nonlinear equations in problems of hydraulic calculation*. Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2014. Vol. 2. No. 4-2(9-2). Pp. 349-352. (in Russian).
7. **Sairiddinov S. S.** *Hydraulic and technological bases of operation of water supply systems in the conditions of the Volga region*. Vector of Science of Tolyatti State University. 2015. No. 3-1(33-1). Pp. 106-116. (in Russian).
8. **Shcherbakov V. I., Drozdov E. V., Pomogaeva V. V.** *Problems of water supply systems in small towns and rural settlements*. Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series. High technology. Ecology. 2013. No. 1. Pp. 38-42. (in Russian).
9. **Pomogaeva V., Vasilyeva O.** *Water supply problems of the small settlements*. E3S Web of Conferences: Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019, Moscow, November 20-22, 2019. Vol. 164. Moscow, EDP Sciences. 2020. Pp. 04019. (in Russian).
10. **Lyusov E. Yu., Bubnov V. B., Repin D. S.** *Development of recommendations for the calculation of water supply and distribution systems in fire-fighting water supply*. Topical issues of improving engineering systems for ensuring fire safety of facilities: Collection of materials of the VIII All-Russian Scientific and practical conference, Ivanovo. April 20, 2021. Ivanovo. Ivanovo Fire and Rescue Academy. 2021. Pp. 215-218 (in Russian).
11. **Shcherbakov V. I., Nguyen H. K., Chan V. Z.** *On the issue of hydraulic modeling of a water supply network using the WATERGEMS / WATERCAD software package*. Russian Engineer. 2017. Vol. 3. No. 1(7). Pp. 5-10. (in Russian).
12. **Orlov V. A., Averkeev I. A.** *Analysis of automated calculation programs for water supply networks for the purpose of hydraulic modeling during pipeline renovation*. Bulletin of MGSU. 2013. No. 3. Pp. 237-243. (in Russian).
13. **Antibas I. R., Dyachenko A. G., Imad S. B.** *Influence of liquid temperature on the velocity of propagation of a hydraulic shock wave in polyethylene pipes*. Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). 2021. Vol. 21. No. 4. Pp. 319-327. (in Russian).
14. **Sidler I. V.** *On the numerical solution of the initial boundary value problem for a hyperbolic system in models of hydraulic shock*. Dynamic systems and computer science: theory and applications (DYSC 2023): proceedings of the 5th International Conference, Irkutsk, September 18-23, 2023. Irkutsk, Irkutsk State University. 2023. Pp. 209-212. (in Russian).

*Received 13 November 2024*

**Для цитирования:**

**Помогаева, В. В.** Гидравлические особенности, определяющие эффективность работы водопроводных сетей в условиях Крайнего Севера / В. В. Помогаева, Д. С. Голубова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 59-68. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.007.

**FOR CITATION:**

**Pomogaeva V. V., Golubova D. S.** *Hydraulic characteristics determining the efficiency of water supply networks in the Far North*. Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 59-68. DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.007. ( in Russian)

---

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ,  
РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО**

---

**URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION, RESTORATION  
AND LANDSCAPING**

---

DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.008

УДК 712.4:72.012.6

**ВЕРТИКАЛЬНОЕ ОЗЕЛЕНЕНИЕ ЗДАНИЙ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ  
МЕТОД БЛАГОУСТРОЙСТВА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ  
(НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВОЛГОГРАДА)**

**Н. В. Коростелева, В. Б. Бучина**

---

Коростелева Наталия Владимировна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры городского строительства, экономики и управления проектами, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(442)23-00-76; e-mail: korostelevanv@mail.ru;

Бучина Валентина Борисовна, магистрант Института Архитектуры и Строительства, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(442)23-00-76; e-mail: valya.buchina@mail.ru.

---

В статье предложен вариант повышения качества благоустройства городской территории посредством внедрения инновационных технологий в систему озеленения урбанизированных территорий. В качестве альтернативы типовых приёмов озеленения рассмотрен вариант вертикального озеленения фасадов зданий. Актуальность данного предложения обосновывается, во-первых, нехваткой стандартных объектов озеленения на урбанизированных территориях, во-вторых, отсутствием в городе необходимых свободных территорий, а, в-третьих, неравномерностью распределения по структуре города объектов озеленения, что значительно снижает качество благоустройства городских пространств. Обозначены основные преимущества и недостатки применения рассматриваемого вида озеленения в современных городских условиях. Проведён анализ существующих приёмов и технологий вертикального озеленения и реализованных проектов в мировой градостроительной практике. Определены сильные и слабые стороны каждого способа вертикального озеленения и обозначены виды застройки наиболее подходящие для каждого типа. На основе полученных данных рассмотрена возможность применения такого вида озеленения для города Волгограда с учётом его климатических и градостроительных особенностей. Приводятся рекомендации по наиболее подходящим методам организации данного вида озеленения, подбору ассортимента зелёных насаждений и выбору наиболее подходящей застройки для реализации. Отмечена перспективность применения вертикального фасадного озеленения в архитектурно-ландшафтной организации городской территории и целесообразность адаптации успешных зарубежных практик вертикального озеленения к рассматриваемым условиям. Определено направление дальнейших исследований в данной области для города Волгограда.

**Ключевые слова:** вертикальное озеленение фасадов; инновационное благоустройство; зеленые фасады; зеленые стены; вертикальные сады.

Согласно Градостроительному Кодексу РФ под благоустройством территорий понимают деятельность по выполнению ряда мероприятий регламентируемых правилами благоустройства территорий муниципальных образований, которые призваны обеспечить комфортные условия для проживания населения данного образования. К данным мероприятиям, как правило, относится инженерная подготовка и озеленение территорий, уст-

ройство усовершенствованных покрытий, освещение и размещение различных малых архитектурных форм на необходимых городских пространствах.

Одним из главных и наиболее существенным элементом благоустройства городских территорий является их озеленение. Озеленённые территории способствуют улучшению качества городской среды, поглощают вредные вещества, снижают уровень шума и загрязнения воздуха. Кроме этого озеленение способствует улучшению психологического состояния людей, снижает уровень стресса и улучшает общее физическое здоровье.

С развитием городских территорий наблюдается тенденция сокращения озеленённых пространств. В современных городах, где приоритетным освоением территории является строительство на них зданий и сооружений различного назначения, зачастую не хватает места для размещения даже небольших объектов озеленения, которые вносили бы большой вклад в оздоровление окружающей среды города. Кроме того, существующие парковые зоны, как правило, располагаются неравномерно по городской территории, что не позволяет зелёным насаждениям в полной мере выполнять свои функции по очищению городской среды. Таким образом, проблема озеленения на урбанизированных территориях городов остаётся актуальной и требует постоянного внимания со стороны городских властей, архитекторов и граждан.

Одним из инновационных методов решения данной проблемы является применение вертикального озеленения в городской среде. Такой вид озеленения имеет ряд преимуществ и недостатков. К положительным свойствам можно отнести экономию городских территорий, возможность равномерного размещения озеленения в структуре города, улучшение микроклиматических, санитарно-гигиенических и эстетических параметров не только внешней городской среды, но и внутренней среды зданий, например, с его помощью можно значительно сократить расходы на отопление/вентиляцию (кондиционирование) помещений [1-3]. Недостатками являются высокая стоимость проектирования, строительства и эксплуатации [4]. Кроме этого, вертикальное озеленение невозможно применять на застройке имеющей архитектурную и историческую ценность.

Целью данной научной работы является исследование возможности внедрения инновационных технологий озеленения в плотную городскую среду Волгограда.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- ✓ обоснована актуальность внедрения зелёных фасадов в городскую среду Волгограда;
- ✓ проведён обзор существующих разработок и воплощенных проектов в мировой практике;
- ✓ предложен вариант внедрения вертикального озеленения в г. Волгоград.

Предметом исследования являются факторы, обуславливающие потенциальные возможности использования вертикального озеленения для обеспечения оптимального развития городских экосистем.

В качестве инструмента исследования был применён метод системного анализа.

На сегодняшний день Волгоград испытывает серьёзный дефицит в озеленении городских территорий. Имея общую площадь городских территорий около 86 тыс. га, площадь зелёных насаждений общего пользования не превышает 1300 га, при этом большая их часть (852 га) относится к посадкам, высаженным до середины 60-х годов прошлого века. Таким образом, можно утверждать, что большая часть зелёных насаждений в городе относится к старовозрастным [5]. Сейчас на каждого жителя областного центра приходится в среднем 10,8 м<sup>2</sup>. зелёных насаждений, при норме 25...40 м<sup>2</sup> для промышленных городов, к которым относится и Волгоград. Администрация города осознает важность данной проблемы и поэтому в рамках проекта «Формирование комфортной городской среды» начиная с 2017 года в Волгограде проводятся ежегодные работы по оздоровлению существующих общественных пространств. Так, например, только в 2023 году было проведено

благоустройство семи рекреационных зон, которые стали победителями в общественном голосовании весной 2022 года.

Но, помимо обновления существующих объектов, видится необходимость в создании новых рекреационных территорий, что позволит не только улучшить качество озеленённых территорий, но и увеличит их количество. В этом направлении также ведутся работы, но значительно в меньшем объёме. На сегодняшний день в городе появился только один объект – это проект первой очереди Царицынского парка (территория «Раздолье»), расположенного на границе Центрального и Ворошиловского районов города в пойме реки Царица. Данный объект является ярким примером того, как можно увеличить площадь объектов озеленения не занимая ценные городские территории. Опираясь на данный опыт можно рекомендовать освоение овражно-балочной сети (ОБС) города Волгограда в рекреационных целях, что позволит не только увеличить площадь озеленённых территорий, но и приостановит развитие и негативное влияние ОБС на развитие городских территорий [5].

Ещё одним направлением в увеличении озеленения города Волгограда может стать работы по восстановлению и обновлению озеленения вдоль улиц и пешеходных дорог. Сейчас озеленение транспортно-пешеходной сети города имеет ряд недостатков:

- ✓ во-первых, зелёные насаждения вдоль транспортных элементов расположены без учёта положения данного элемента в общей структуре города. Из-за этого они не могут в полной мере выполнять одну из своих немаловажных функций – затенение пешеходных тротуаров и зданий;

- ✓ во-вторых, в озеленении транспортно-пешеходной сети используется незначительное количество пород (порядка 12 наименований деревьев и 28 видов кустарников), что приводит к однообразию и снижает выразительность важного городского элемента;

- ✓ в-третьих, наблюдается серьёзный дефицит древесно-кустарниковых элементов.

Если говорить о количестве уличного озеленения на одного жителя города, то сегодня оно составляет 4...5 м<sup>2</sup>. Причем значительная нехватка наблюдается именно на крупных магистральных улицах шириной более 40 метров. На них насаждения в среднем занимают 14 % общей ширины при рекомендуемых 25 %, т.е. незначительно превышают 50 % от рекомендации. На улицах меньших габаритов (шириной до 40 метров) размеры озеленённых элементов занимают 15% от общих габаритов при рекомендованных 20 %. Что касается улиц, имеющих бульварную часть, то данный элемент занимает лишь 20 % при рекомендованных 48 %, т.е. не достигают даже 50 %.

Из вышесказанного вытекает необходимость увеличения площади озеленения в составе улично-дорожной сети города минимум в 2 раза и внедрение разнообразия породного состава, что придаст наибольшую выразительность планировочным элементам и позволит увеличить площадь насаждений общего пользования (приблизительно на 900 га).

Однако в условиях имеющейся плотности городской застройки и стремительном увеличении автомобильного потока, требующего расширения проезжих частей основных городских магистралей, увеличение зелёных территорий с использованием традиционных методов размещения элементов озеленения бывает весьма проблематичным из-за дефицита городского пространства. Поэтому альтернативой в данном случае может стать вертикальное озеленение фасадов зданий, расположенных вдоль уличной сети города. Данное решение позволит не только увеличить количество зелёных насаждений в городе, но и обеспечит их равномерное распределение в границах городской черты, т.к. улично-дорожная сеть достаточно равномерно распределена в структуре города. Кроме того, такой вид озеленения имеет ряд преимуществ.

Во-первых, вертикальное озеленение позволяет выращивать растения на существующих вертикальных поверхностях, не расходуя дополнительного территориального ресурса. Во-вторых, способствует энергоэффективности зданий, так как растения на стенах могут служить естественным теплоизоляционным слоем, снижая энергопотребление зда-



ния для отопления и кондиционирования воздуха. В-третьих, оно позволяет придать зданиям привлекательный внешний вид, при проведении реконструкции объекта, что очень актуально для Волгограда, т.к. в центральных частях практически каждого района города располагается застройка, нуждающаяся в обновлении фасадов.

Все эти преимущества делают вертикальное озеленение все более популярным и актуальным в городской среде, помогая улучшить качество городской среды, эстетику и энергоэффективность городских зданий.

Для выбора оптимального варианта вертикального озеленения для внедрения в городское строительство Волгограда необходимо проанализировать существующие в современной практике типы вертикального озеленения. На сегодняшний день можно выделить несколько направлений классификации видов вертикального озеленения (таблица).

Направления классификаций вертикального озеленения [6...12]

| Направление классификации  | Разделы           | Характеристика   | Примеры  |
|----------------------------|-------------------|--|--|
| По принципу работы         | Зелёные фасады    | Растительная поверхность формируется с применением вьющихся или каскадных почвопокровных растений. Для усиления крепления растений к стенам здания или в качестве опор для вьющихся растений используют специально разработанные конструкции. Как правило, «зелёные фасады» укореняются у основания в грунт или в контейнеры, которые крепятся к стене на определённой высоте. | Фасады домов, спроектированных Фриденсрайхом Хундертвассером, а также множество фасадов исторических памятников и современных домов, заплетённых вьющимися растениями по определённому замыслу автора проекта или стихийно.                |
|                            | Зелёные стены     | Являются более сложными структурами из-за необходимости применения опорных конструкций с разнообразными способами крепления. Для данного метода озеленения необходимо предусматривать ирригационную сеть с удобрениями, с системами освещения и наблюдения. Помимо этого, для защиты ограждающих конструкций требуется организация гидроизоляции.                              | Работы архитекторов и проектных организаций: Эмилио Ллобат (Испания), Патрика Бланка (Франция), Verd MX (Мексика), Francisco Bollani (Италия), Jose Maria Chofre (Испания), Parabienta от «Симидзу» и «Минору» (Япония), Bio-lung (Япония) |
|                            | Вертикальные леса | Зелёные насаждения размещаются в контейнерах, расположенных на консольных участках плит перекрытия. Все контейнеры соединены дренажной системой, а полив осуществляется по средствам центральной системы капельного орошения.  | Жилой комплекс Bosco Verticale (Милан, Италия), эконобоскреб Clearpoint Residencies (Шри-Ланка, Коломбо), комплекс из двух небоскребов Vertical Forest (Нанкин, Китай)   |
| По происхождению материала | Местная флора     | Для озеленения используют растения, произрастающие на данной территории  | Фасады домов, заплетённых вьющимися растениями.  |

Окончание табл.

| Направление классификации  | Разделы   | Характеристика  | Примеры  |
|----------------------------|---|---|--|
| По происхождению материала | Привозной адаптированный материал (интродуценты)                | Для озеленения применяют растения, выращиваемые на территориях, где они раньше не существовали. Повышенный интерес к данным видам, вызван тем, что в условиях городской среды они во многих случаях проявляют большую устойчивость и долговечность, чем местные виды. | Например, работы Патрика Бланка, который большую часть своей трудовой деятельности посвятил изучению флоры Юго-Восточной Азии и с успехом внедрял ее в озеленение европейских городов. |
| По времени существования   | Постоянное (круглогодичного существования)                      | Для вертикального озеленения данного типа используют растения с учётом климатических особенностей местности и, как правило, применяют вечнозелёные хвойные и лиственные породы  | Жилой комплекс The Mountain Dwellings (Копенгаген, Дания); жилой дом 152 Elizabeth (Нью-Йорк, США); жилой дом 79&PARK (Стокгольм, Швеция)  |
|                            | Периодическое (сезонное использование в весенне-осенний период) | Озеленение данного типа, как правило, формируется из растений, высаженных в контейнерах, на зимний период их переносят в оранжереи. Либо требуется замена растительного материала в зависимости от сезона.  | Вертикальное озеленение фасадов общественных зданий (Москва, Россия),  |

Проведя анализ существующих способов вертикального озеленения можно отметить, что у каждого вида есть свои преимущества и недостатки в области организации и эксплуатации. Так, например, «зелёные фасады» требуют меньшего ухода и защиты при эксплуатации, но более тщательной организации при монтаже, т.к. существует опасность проникновения корешков и усиков растений в существующие швы на стенах, что может повлечь их разрушение. Кроме того, какие-то виды подходят только для применения в новом строительстве (вертикальные сады), а какие-то при любом виде застройки («зелёные стены» и «зелёные фасады»).

Ещё одним фактором, влияющим на выбор озеленения, может стать высота здания. Так система «зелёные фасады» лучше всего использовать для домов небольшой высоты из-за необходимости при увеличении этажности застройки разделять озеленяемую зону на высотные уровни, с формированием для каждого отдельной системы. Для системы «зелёные стены» и «вертикальные сады» такой проблемы не существует. Таким образом, можно говорить о том, что каждый вариант вертикального озеленения перед его внедрением необходимо тщательно анализировать для конкретных условий.

Что касается применения вертикального озеленения в городской среде Волгограда, то при его внедрении необходимо уделять внимания инновационным методам, основанным на учёте климатических особенностей региона, существующей городской застройки и подборе растительного материала.

Волгоград располагается в умеренно континентальном климате, с зимней температурой до  $-5,9$  °С. Согласно СП 131.13330.2020 город входит в пятёрку городов с самым жарким летом (среднемесячная температура  $+24,7$  °С). Внедрение вертикального озеленения в городскую среду поможет смягчить воздействие жаркого климата, создав более прохладную и комфортную атмосферу на территории. Кроме того, зелёные стены зданий будут выполнять функцию естественной изоляцией, снижая нагрузку на кондиционирование в помещениях и уменьшая потребление энергии.

Из-за значительных перепадов температур в городе желательнее применять либо конструкции со сменными модулями, что позволит проводить корректировки озеленения в зависимости от сезона, либо использовать специальные породы озеленения со всегодичным периодом применения. В качестве основных видов всегодичного озеленения фасадов, расположенных вдоль основных магистралей города, можно рекомендовать применение таких растений как плющ (*Hedera helix*), девичий виноград (*Parthenocissus*), клематис виноградолистный и вергинский (*C. vitalba* L.; *C. virginiana* L.). Данные виды характеризуются высокой засухоустойчивостью (не теряют своей декоративности и не страдают от низкой влажности воздуха в жаркий период лета) и хорошей зимостойкостью.

Кроме этого, листья плюща лучше листьев других растений улавливают крупные и мелкие частицы загрязняющих веществ, что немаловажно для озеленения примыкающих территорий [13].

При применении модульных конструкций особый интерес представляют исследования специалистов Южного федерального университета. В частности ими была разработана технология модульно-вертикального уличного озеленения для городов Ростовской области, но которую они рекомендуют применять и для других городов Южного федерального округа.

Что касается учёта особенностей существующей застройки Волгограда, то здесь применение вертикального озеленения является весьма перспективным. В городе достаточно большое количество малоценной застройки 1960...1980 годов постройки, которая требует обновления фасадов. Для данных объектов применение вертикального озеленения, помимо улучшения теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций, может быть способом модернизации фасадов и обновлением их внешнего облика.

Таким образом, несмотря на существующие сложности и отсутствие достаточных наработок в области вертикального озеленения в условиях соответствующих Волгоградской области, это направление способно внести существенный вклад в решение целого ряда проблем по благоустройству городской среды:

- ✓ повысит уровень озеленения без потерь территориального ресурса;
- ✓ обеспечить равномерное распределение озеленённых пространств по структуре города;
- ✓ улучшить качество окружающей среды;
- ✓ повысить эстетический потенциал городских пространств.

### **Заключение.**

Проведён анализ существующих приёмов и технологий вертикального озеленения и реализованных проектов в мировой градостроительной практике. Определены сильные и слабые стороны каждого способа вертикального озеленения и обозначены виды застройки, наиболее подходящие для каждого типа.

Приведены рекомендации по наиболее перспективным методам организации вертикального озеленения, подбору ассортимента зелёных насаждений и выбору наиболее подходящей застройки.

Отмечена перспективность применения вертикального фасадного озеленения в архитектурно-ландшафтной организации городской территории и целесообразность адаптации успешных зарубежных практик вертикального озеленения к рассматриваемым условиям.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Вебер, А. А.** Озеленение городов в условиях плотной застройки / А. А. Вебер, А. С. Кучеров, А. С. Лылов // Мир инноваций. – 2020. – № 4. – С. 8-18.
2. **Туркина, Е. А.** Тенденции развития горизонтального и вертикального озеленения зданий / Е. А. Туркина, Д. А. Чистяков, А. Н. Калугин // Инновации и инвестиции. –

2018. – № 1. – С. 226-31.

3. **Шляпникова, Е. М.** Вертикальное озеленение зданий как средство экологической компенсации города / Е. М. Шляпникова // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Материалы международной научно-практической конференции. – Москва: МАРХИ, 2016. – С. 165-169.

4. **Литвинова, А. И.** Вертикальное озеленение городских пространств / А. И. Литвинова, Н. А. Евстигнеева, Ю. В. Евстигнеева // Биосфера. – 2022. – № 1. – С. 52-59.

5. **Коростелева, Н. В.** Освоение овражных территорий крупных городов под объекты озеленения как способ улучшения благоустройства территории на примере г. Волгограда / Н. В. Коростелева // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2016. – Вып. 46(65). – С. 153-162.

6. **Курзанов, И. А.** Российский и зарубежный опыт вертикального фасадного озеленения / И. А. Курзанов, Н. В. Дукмасова // Система управления экологической безопасностью: сборник трудов XVIII международной научно-практической конференции. – Екатеринбург: УрФУ, 2024. – С. 114-117.

7. **Сотникова, Е. А.** Вертикальное озеленение фасадов / Е. А. Сотникова // Научные высказывания. – 2022. – № 6(14). – С. 10-12.

8. **Адамчик, Г. А.** Перспективы применения вертикального озеленения в условиях города Владивостока / Г. А. Адамчик // Вестник ИШ ДВФУ. – 2013. – № 3(16). – С. 98-109.

9. **Son, J. E.** Hydroponic Systems. An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production / J. E. Son, H. J. Kim, T. I. Ahn // Plant Factory, Chapter 17. – 2020. – Pp. 273-283.

10. **Едранов, Е. А.** Результаты интродукции древесных растений в надеждинском опорном пункте. Роль ботанических садов и дендропарков в импортозамещении растительной продукции / Е. А. Едранов, Е. Е. Авакумова // Материалы I Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию создания Общественного совета по организации Чебоксарского ботанического сада. – Чебоксары, 2016. – С. 51-58.

11. **Blanc, P.** The Vertical Garden. From nature to the city / P. Blanc // Revised and updated. New York; London, W. W. Norton & Company. – 2012. – 208 p.

12. **Vialard, N.** Gardening vertically: 24 ideas for creating your own green walls / N. Vialard // New York; London: W. W. Norton & Company. – 2012. – 144 p.

13. **Mamatha, T.** Exploring the interplay between particulate matter capture, wash-off, and leaf traits in green wall species / T. Mamatha, K. Prashant, K. V. Abhijith, F. W. John // Science of The Total Environment, 2024; 921: 170950. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170950.

*Поступила в редакцию 21 ноября 2024*

**VERTICAL LANDSCAPING OF BUILDINGS AS AN INNOVATIVE  
METHOD OF URBAN AREAS IMPROVEMENT  
(ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF VOLGOGRAD)**

**N. V. Korosteleva, V. B. Buchina**

---

Nataliya Vladimirovna Korosteleva, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Urban Construction, Economics and Project Management, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, tel.: +7(442)23-00-76; e-mail: korostelevanv@mail.ru

Valentina Borisovna Buchina, undergraduate of the Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, tel.: +7(442)23-00-76; e-mail: valya.buchina@mail.ru

---

The article proposes an option to improve the quality of improvement of the urban area by introducing innovative technologies into the landscaping system of urbanized areas. As an alternative to typical methods of landscaping of urban areas, we consider the option of vertical landscaping of facades. The relevance of this proposal is justified, firstly, by the lack of standard landscaping facilities in urbanized areas, and secondly, by the lack of required free areas in the city, and thirdly, by the uneven distribution of landscaping facilities throughout the city structure, which significantly reduces the quality of improvement of urban spaces. We indicate the main advantages and disadvantages of using this type of landscaping in modern urban conditions. To justify the introduction of vertical landscaping in urban space, we analyzed existing techniques and technologies of vertical landscaping and implemented projects in world urban planning practice. So, we determined the strengths and weaknesses of each method of vertical landscaping and identified the types of buildings that are most suitable for each type. Based on the data obtained, we considered the possibility of using this type of landscaping for the city of Volgograd, taking into account its climatic and urban planning features. We as well recommend to use the most suitable methods for organizing this type of landscaping, to select an assortment of vegetation and opt for the most suitable implementation of these solutions. We determine the prospects for the use of vertical facade landscaping in the architectural and landscape organization of the urban area and the feasibility of adapting successful foreign vertical landscaping practices to the conditions under consideration. In addition, we determine the direction for further research in this area for the city of Volgograd.

**Keywords:** vertical landscaping of facades; innovative landscaping; green facades; green walls; vertical gardens.

## REFERENCES

1. **Veber A. A., Kucherov A. S., Lylov A. S.** *Greening cities in conditions of dense development*. World of Innovations 2020. (4):8-18. (in Russian)
2. **2.Turkina Ye. A., Chistyakov D. A., Kalugin A. N.** *Trends in the development of horizontal and vertical landscaping of buildings*. Innovation and investment. 2018. No. 1. Pp. 226-31. (in Russian)
3. **Shlyapnikova Ye. M.** *Vertical landscaping of buildings as a means of ecological compensation of the city*. Science, education and experimental design. Materials of the International Scientific and Practical conference. Moscow, MARKHI. 2016. Pp. 165-9. (in Russian)
4. **Litvinova A. I., Yevstigneyeva N. A., Yevstigneyeva Yu. V.** *Vertical landscaping of urban spaces*. Biosphere. 2022. No. 1. Pp. 52-59.
5. **Korosteleva N. V.** *Development of ravine territories of large cities for landscaping facilities as a way to improve the landscaping of the territory on the example of Volgograd*. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2016. Issue 46(65). Pp. 153-162. (in Russian)
6. **Kurzanov I. A., Dukmasova N. V.** *Russian and foreign experience of vertical facade landscaping*. Environmental safety management system: proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference .Yekaterinburg: UrFU. 2024. Pp. 114-117. (in Russian)
7. **Sotnikova Ye. A.** *Vertical landscaping of facades*. Scientific statements. 2022. No. 6(14). Pp. 10-12. (in Russian)
8. **Adamchik G. A.** *Prospects for the application of vertical landscaping in the conditions of the city of Vladivostok*. Bulletin of the ISH FEFU. 2013. No. 3(16). Pp. 98-109. (in Russian)
9. **Son J. E., Kim H. J, Ahn T. I.** *Hydroponic Systems. An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. Plant Factory Chapter 17. 2020. Pp. 273-283.
10. **Yedranov Ye. A., Avakumova Ye. Ye.** *The results of the introduction of woody plants in the Nadezhdinsky stronghold. The role of botanical gardens and arboretums in the import substitution of plant products*. Materials of the First All-Russian scientific and practical con-

ference with international participation dedicated to the 50th anniversary of the establishment of the Public Council for the Organization of the Cheboksary Botanical Garden. Cheboksary. 2016. Pp. 51-58. (in Russian)

11. **Blanc P.** *The Vertical Garden. From nature to the city. Revised and updated.* New York; London, W.W. Norton & Company. 2012. 208 p.

12. **Vialard N.** *Gardening vertically. 24 ideas for creating your own green walls.* New York. London. W.W. Norton & Company. 2012. 144 p

13. **Mamatha T., Prashant K., Abhijith K.V, John F. W.** *Exploring the interplay between particulate matter capture, wash-off, and leaf traits in green wall species.* Science of The Total Environment. 2024. 921: 170950. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170950

*Received 21 November 2024*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Коростелева, Н. В.** Вертикальное озеленение зданий как инновационный метод благоустройства городских территорий (на примере города Волгограда) / Н. В. Коростелева, В. Б. Бучина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 69-77. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.008.

**FOR CITATION:**

**Korosteleva N. V., Buchina V. B.** *Vertical landscaping of buildings as an innovative method of urban areas improvement (on the example of the city of Volgograd).* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 69-77. DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.008. ( in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.009

УДК 712.25

## КОНЦЕПЦИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ПАРКА «НОВОПАРК» В ГОРОДЕ НОВОВОРОНЕЖ

М. С. Кононова, Э. В. Сазонов, О. В. Телюк

Кононова Марина Сергеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: kniga18@mail.ru

Сазонов Эдуард Владимирович, д-р техн. наук, профессор кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: edsazonov36@yandex.ru

Телюк Ольга Валерьевна, магистрант кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(900)307-26-42; e-mail: telyuk.olenka@mail.ru

Представлен краткий обзор современных тенденций и направлений в области реконструкций городских парковых пространств. Приведено описание особенностей рассматриваемого «Новопарка», связанных с его расположением и общегородским значением, описано существующее состояние элементов благоустройства. Обоснована необходимость разработки проекта комплексной реконструкции. В составе предпроектного анализа проведено исследование окружающей застройки, оценено расположение предприятий бизнеса и услуг, транспортной организации территории. На основании проведенного анализа территории была разработана концепция формирования функциональных зон с учетом уже сложившейся структуры парка, при максимальном сохранении существующих пешеходных связей и зеленых насаждений.

**Ключевые слова:** городской парк; функциональное зонирование; реконструкция общественных пространств.

На сегодняшний день темп роста городов стремительно растет, что влечет за собой уменьшение зеленой площади и увеличение функциональной нагрузки на парки. Парк представляет собой зону городского озеленения, служащую оазисами природы, где созданы или сохранены естественные растительные комплексы, а также обустроены тропы и прогулочные дорожки. В настоящее время проблема комфортного досуга и отдыха на природе приобретает статус социальной проблемы, отражающей как частные, так и общие потребности [1].

В научной литературе имеются различные исследования, направленные на сохранение экосистем и улучшение парковых территорий [2]. Ключевым фактором, определяющим направление реконструкции, является его основное назначение [3]. Традиционные городские парки с высокими деревьями, аккуратно выложенными клумбами цветов и устаревшими аттракционами остаются в прошлом. Вместо них создают концепции, способные разнообразить парк, привнести новые идеи и сделать пространство более функциональным и привлекательным для жителей города [3].

Не менее значимым элементом в современных парках является влияние искусства. Скульптуры, арт-объекты и индивидуальные сооружения придают уникальный колорит и становятся неотъемлемой частью городской самобытности. Места для выступлений уличных художников и музыкантов притягивают творчески настроенных людей, делая окружающее пространство более живым и насыщенным [4].

Одним из важнейших аспектов является расположение между собой функциональных зон. Планирование размещения функциональных зон играет основную роль в разра-

ботке любого общественного парка [5]. Функциональная зона представляет собой участок с определенным назначением, будь то площадка для занятия спортивно-оздоровительными мероприятиями, детский городок, фудкорт, а также зоны отдыха и развлечения [5].

Зона тихого отдыха одна из основополагающих, она предназначена для комфортного и безопасного времяпровождения на чистом воздухе. Планирование этой зоны включает в себя разумное размещение отдыхающих на фоне природы, вдали от городской суеты. Здесь обычно располагаются фонтаны, павильоны, урны, скамейки, фонари, небольшие цветочные композиции.

Весь парк должен быть оснащен хорошо развитой сетью дорожек и тропинок, связывающих все различные зоны парка между собой [6].

Создание удобной для отдыха среды, адаптированной в том числе и для людей с ограниченными возможностями, включает в себя развитие системы доступности, которая должна охватывать все аспекты зоны отдыха и соединительные элементы к ним [6].

Таким образом, реконструкция городских парков является значимым шагом в направлении формирования более устойчивой, безопасной и привлекательной общественной территории, при которой необходимо соответствовать, как запросам современного общества, так и экологическим стандартам [7].

#### *Характеристика объекта*

Объектом реконструкции является городской парк «Новопарк», расположенный в городе Нововоронеж, основан в 1957 г. Этот объект – центральная и самая крупная рекреационная площадка города, пользующаяся большой популярностью местных жителей. Разработка предложений по реконструкции с целью создания комфортной и безопасной среды для всех посетителей, а также сохранение исторического наследия является в настоящий момент весьма актуальной задачей, что подтверждается результатами опроса местных жителей [8].

Расположение объекта на аэросъёмке и электронной карте города приведено на рис. 1.



Рис. 1. Схема расположения объекта: а – на электронной карте; б – на аэрофотосъёмке

В 2020 году выполнен первый этап благоустройства парка. В настоящее время участок парка благоустроен фрагментарно и большая часть парка ещё находится в неухоженном состоянии и требует надлежащего благоустройства. На проектируемой территории находятся следующие объекты: выставочная зона школы искусств; несколько детских площадок, зоны нефункционирующих советских детских аттракционов; административно-хозяйственные постройки (рис. 2).





Рис. 2. Схема современного использования территории

### Предпроектный анализ территории

Территория рассмотрения располагается в зоне Р VII-1.1 – зоне городских парков (рис. 3). Она предназначена для организации парков городского и районного значения, используемых в целях кратковременного отдыха, проведения досуга населения.

Виды разрешённого использования на участке: тематические парки, физкультурно-оздоровительные сооружения, музеи, выставочные залы, памятные объекты, летние театры и танцплощадки, детские площадки, площадки для отдыха и выгула собак, вспомогательные строения и элементы благоустройства [9, 10]. Предельная высота зданий и сооружений – 8 м. Максимальный процент застройки – 50 %.

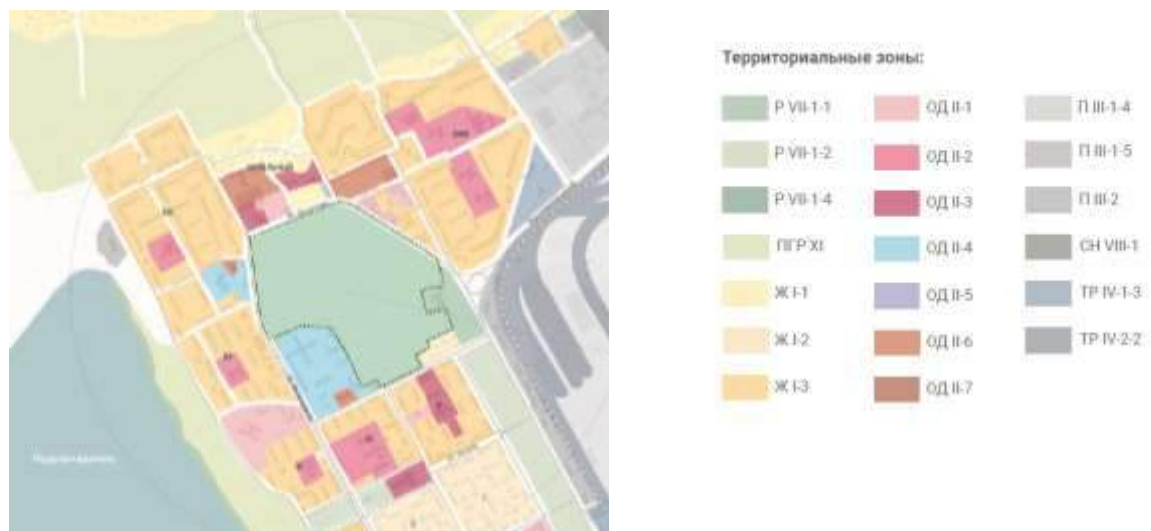


Рис. 3. Существующее функциональное зонирование территории

### Периодизация и морфотипы застройки вокруг парка

На рассматриваемой территории наиболее ранние постройки относятся к концу 50-х годов и расположены на юго-восточной части участка. Постройки, датируемые 1961...1970 гг., в основном расположены ближе к центральной части рассматриваемой территории, с юго-западной части городского парка (рис. 4).

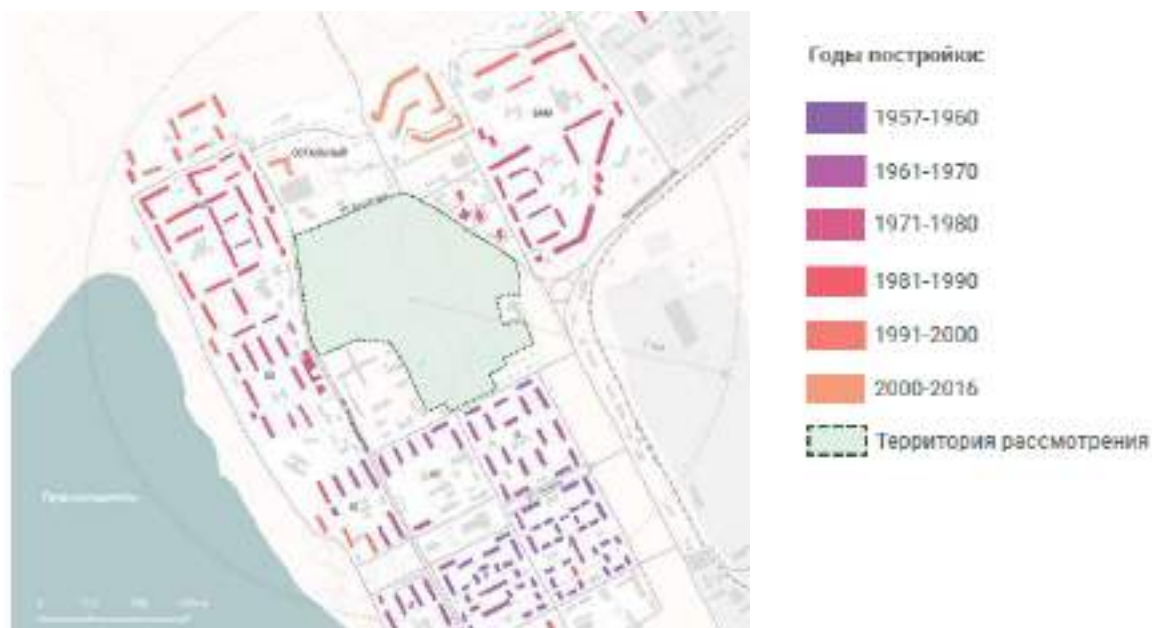


Рис. 4. Анализ прилегающей к парку застройки

Застройка 1971...1980 гг. расположена в западной, северо-западной и северо-восточной частях территории. Застройка этого временного периода включает в себя пятиэтажные и девятиэтажные здания. Постройки 1981...1990 годов расположены в различных частях рассматриваемой территории, наибольшая концентрация зданий этого периода отмечена в северо-западной части участка, где здания условно формируют единый планировочный квартал с разновысотной застройкой от 5-ти до 9-ти этажей. Фрагментарно застройка встречается в юго-западной и северо-восточной части города.

Наиболее поздняя застройка относится к 2011...2016 гг. и расположена в северной и северо-восточной части рассматриваемой территории, в микрорайонах Остальный и Северный.

#### *Расположение предприятий бизнеса и услуг*

Вокруг рассматриваемой территории расположены основные ядра коммерческой активности (рис. 5).



Рис. 5. Карта-схема расположения предприятий малого и среднего бизнеса, объектов социальной инфраструктуры

Точками обозначены объекты, занимающие первые этажи жилых зданий. Главным объектом притяжения является городской рынок, расположенный на северо-востоке от парка, именно там самая большая плотность торговых точек во всем Нововоронеже.

#### *Анализ транспортной и пешеходной доступности*

Общественный транспорт на рассматриваемой территории представлен как междугородними, так и внутригородскими маршрутами (рис. 6). Практически все автобусные маршруты проходят вдоль северной части парка.



Рис. 6. Схема существующей транспортной организации территории

По периметру территории проектирования располагается семь парковочных пространств, есть парковки и через дорогу от парка, рядом с жилыми и коммерческими зданиями. Также по периметру парка в границах дорожного полотна располагаются парковочные карманы. Рассматриваемый парк находится практически в центре Нововоронежа, откуда за 10 минут можно добраться до основных объектов общегородского значения (рис. 7).



Рис. 7. Схема существующей пешеходной доступность территории

Основными задачами при разработке проекта реконструкции парка является сохранение важных транзитных маршрутов на территории парка, соединяющих разные части города, и создание новых прогулочных троп.

*Предложения по функциональному зонированию территории парка*

На основе анализа всех градостроительных, планировочных, социо-культурных особенностей исследуемого объекта и прилегающей территории, проведен SWOT-анализ (таблица).

SWOT-анализ территории парка

|                 |  |                |   |
|-----------------|--|----------------|---|
| Сильные стороны | Выгодное территориально расположение – в центре города<br>Экологический и природный потенциал, перспективы для развития и экологического просвещения горожан<br>Рекреационный потенциал, хорошее состояние лесного массива<br>Близость к плотно населенным жилым кварталам<br>Интересная самобытность территории | Слабые стороны | Скучное благоустройство, разрушенные покрытия и малые архитектурные формы<br>Плохая освещенность территории в темное время суток<br>Сезонность использования территории   |
| Возможности     | Уникальный парк для города<br>Точка притяжения жителей - главное общественное пространство города<br>Развитие культурной сферы жизни Нововоронежа благодаря проведению массовых мероприятий на площадках парка<br>Развитие малого бизнеса путём создания коммерческих точек в парке                              | Угрозы         | Невостребованность коммерческих точек в связи со снижением покупательской способности населения<br>Затруднения при эксплуатации технических объектов парка (аттракционов) |

На основании проведенного анализа территории была разработана концепция формирования функциональных зон с учетом уже сложившейся структуры парка, при максимальном сохранении существующих пешеходных связей и зеленых насаждений (рис. 8).

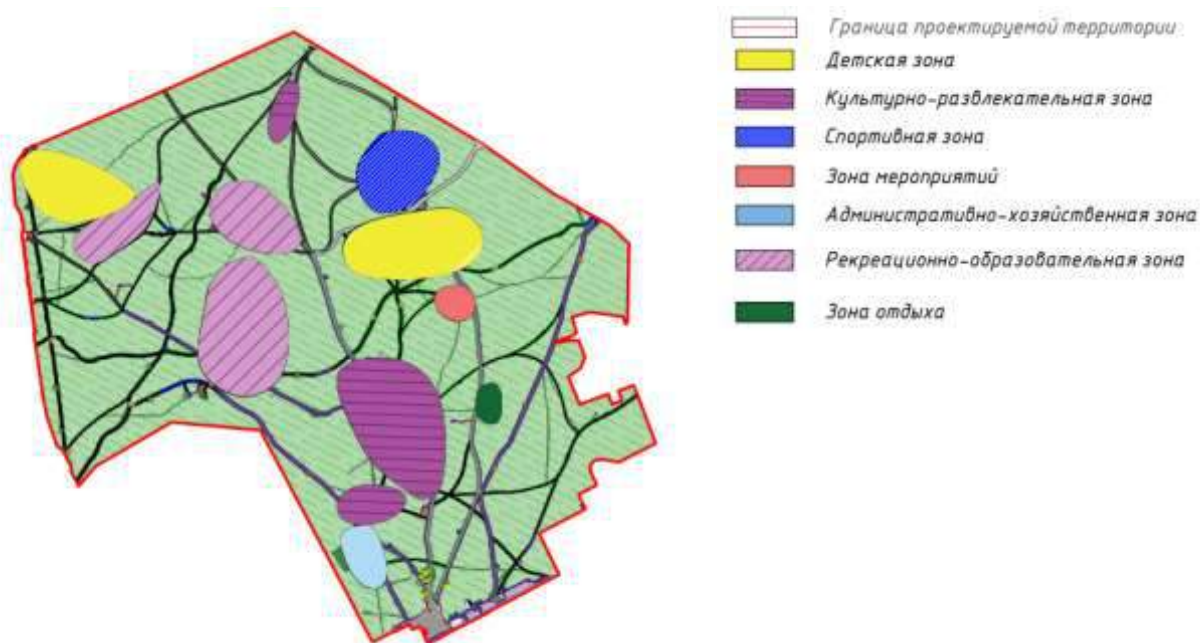


Рис. 8. Предлагаемая схема функционального зонирования парка «Новопарк»

Культурно-развлекательная зона является ядром парка, местом его притяжения, где сконцентрирована развлекательная функция для разных групп населения с размещением фуд-корта, игровых автоматов и аттракционов.

Спортивная зона находится северо-восточной части парка включает уже существующие объекты: скейт-парк, совмещённый с памп-треком, площадку для воркаута (зона турников и тренажеров), столы для настольного тенниса, а также универсальную площадку со профессиональным покрытием (на месте существующей) для игр в теннис, волейбол, футбол и баскетбол.

Зона мероприятий включает в себя сцену «Ракушка» общей площадью около 800 м<sup>2</sup> (вместимость зрителей – 200 человек). Предполагается, что это будет многофункциональный объект для проведения разноформатных мероприятий, который в настоящее время не используется сообществами из-за своего разрушенного состояния и отсутствием комфортных, современных условий для ее эксплуатации.

Административно-хозяйственная зона размещается в юго-западной части парка и включает в себя два административных здания. Предусмотрена также рекреационно-образовательная зона, свободный формат которой позволит устраивать познавательные мероприятия для детей.

Зона городского сада – это возможность посадить небольшое количество различных растений, приходить на мастер-классы, чтобы почерпнуть новые знания в области садоводства и насладиться общением с людьми, разделяющими общие интересы. Выставочная зона предназначена для учеников Детской школы искусств, здесь можно проводить занятия на свежем воздухе, организовывать пленэры, репетиции танцоров и музыкантов.

В проекте предусмотрено расположение детских площадок для разных возрастов. Вблизи этих площадок предлагается восстановить важный для города объект – фонтан.

При входе в парк предусмотрены зоны для парковки автомобилей. Количество необходимых машино-мест рассчитано согласно Приложению Ж СП 42.13330.2016. Предполагаемая плотность посетителей составляет 107 человек на гектар, что позволяет определить необходимость в 23 местах для парковки, каждое из которых имеет размеры 5,3 на 2,5 метра. Для удобства посетителей с ограниченными возможностями предусмотрены отдельные парковочные места размерами 6,0 на 3,6 метра в количестве трех штук.

### **Заключение.**

Проведен комплексный анализ территории городского парка, включающий разностороннее рассмотрение различных аспектов градостроительного и социо-культурного значения.

На основании проведенного анализа территории разработана концепция формирования функциональных зон с учетом уже сложившейся структуры парка, при максимальном сохранении существующих пешеходных связей и зеленых насаждений. На рассматриваемом примере показана возможность и целесообразность комплексного подхода к реконструкции общегородских пространств.

Предложенный проект функционального зонирования является основой для разработки проектов объектов соответствующего назначения, что позволит сформировать комфортную и современную парковую зону.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Корнева, Т. О.** Зеленые зоны городской среды / Т. О. Корнева, Т. Б. Паничева // Молодой ученый. – 2022. – № 26(421). – С. 25-27.
2. **Артемьева, Т. Г.** Реконструкция городских парковых территорий с сохранением сложившейся экосистемы / Т. Г. Артемьева, Е. М. Бальзанникова, М. И. Бальзанников // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 10. – С. 42-47.

3. **Пунтус, Е. Ю.** Модернизация объектов ландшафтной архитектуры парковых зон / Е. Ю. Пунтус, Е. М. Пономарёва // Сборник статей II Международного учебно-исследовательского конкурса : в 6 ч. – Том Часть 3. – Петрозаводск, 2021. – С. 444-448.
4. **Стеклова, И. А.** Феномен художественной экспансии парков скульптуры на базе международных симпозиумов / И. А. Стеклова, Е. М. Рагужина // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. – 2022. – С. 137-153.
5. **Гибадуллина, А. Д.** Функциональное зонирование и благоустройство парковых зон / А. Д. Гибадуллина, И. З. Абубакирова // Форум молодых ученых. – 2018. – С. 110-112.
6. **Иванова, Н. В.** Ландшафтные мероприятия при формировании адаптивной среды для маломобильных групп населения в рекреационных пространствах города / Н. В. Иванова, Н. Н. Антонова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: строительство и архитектура. – 2016. – № 46(65). – С. 220-237.
7. **Федорова, В. С.** Экологические перспективы обустройства городских парков / В. С. Федорова // Экологический вестник Донбасса. – 2023. – № 9. – С. 17-23.
8. **Телюк, О. В.** Предпроектный анализ мероприятий по реконструкции городского парка в городе Нововоронеж / О. В. Телюк, М. С. Кононова // Актуальные вопросы современных научных исследований. Сборник статей X Международной научно-практической конференции. – Пенза, 2024. – С. 59-62.
9. **Телюк, О. В.** Обоснование функционального зонирования при реконструкции территории городского парка в г. Нововоронеж / О. В. Телюк, М. С. Кононова // Научная опора Воронежской области. Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. – Воронеж, 2024. – С. 160-164.
10. **Михайлова, Т. В.** Вопросы формирования и реорганизации рекреационных зон города Воронежа / Т. В. Михайлова, М. С. Кононова, Э. В. Сазонов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 1(20). – С. 72-78. – DOI 10.36622/VSTU.2022.99.99.007.

*Поступила в редакцию 21 ноября 2024*

## THE CONCEPT OF RECONSTRUCTION OF THE NOVOPRAK PARK IN THE CITY OF NOVOVORONEZH

**M. S. Kononova, E. V. Sazonov, O. V. Telyuk**

---

Marina Sergeevna Kononova, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: kniga18@mail.ru  
Eduard Vladimirovich Sazonov, Dr. Sc. (Tech.), Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-53-21; e-mail: edsazonov36@yandex.ru  
Olga Valeryevna Telyuk, Master's Student of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(900)307-26-42; e-mail: telyuk.olenka@mail.ru

---

The article presents a brief overview of current trends in the field of urban park space reconstruction. Hereafter we describe features of the considered Novopark park related to its location and citywide significance, as well as the existing state of the landscaping elements. We substantiate the necessity of developing a comprehensive reconstruction project. As part of the pre-design analysis, we studied the surrounding development, location of business and service enterprises, and evaluated transport organization of the territory. Based on the analysis of the territory, we developed a concept for the formation of functional zones, taking into account the already established structure of the park, while maximizing the preservation of existing pedestrian links and green spaces.

**Keywords:** urban park; functional zoning; reconstruction of public spaces.

## REFERENCES

1. **Korneva T. O., Panicheva T. B.** *Green zones of the urban environment.* Young scientist. 2022. No. 26(421). pp. 25-27.
2. **Artemyeva T. G., Balzannikova E. M., Balzannikov M. I.** *Reconstruction of urban park areas with preservation of the established ecosystem.* Industrial and civil construction. 2019. No. 10. Pp. 42-47.
3. **Puntus E. Yu., Ponomareva E. M.** *Modernization of objects of landscape architecture of park zones.* Collection of articles of the II International educational and research competition: in 6 hours. Volume Part 3. Petrozavodsk. 2021. Pp. 444-448.
4. **Steklova I. A., Raguzhina E. M.** *The phenomenon of artistic expansion of sculpture parks based on international symposia.* Bulletin of Tomsk State University. Culturology and Art Criticism. 2022. Pp. 137-153.
5. **Gibadullina A. D., Abubakirova I. Z.** *Functional zoning and landscaping of park areas.* Forum of Young Scientists. 2018. Pp. 110-112.
6. **Ivanova N. V., Antonova N. N.** *Landscape measures in the formation of an adaptive environment for low-mobility groups of the population in the recreational spaces of the city.* Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: construction and architecture. 2016. No. 46(65). Pp. 220-237.
7. **Fedorova V. S.** *Ecological prospects of urban parks.* Environmental Bulletin of Donbass. 2023. No. 9. Pp. 17-23.
8. **Telyuk O. V., Kononova M. S.** *Pre-project analysis of measures for the reconstruction of the city park in the city of Novovoronezh.* Actual issues of modern scientific research. collection of articles of the X International Scientific and practical Conference. Penza. 2024. Pp. 59-62.
9. **Telyuk O. V.** *Substantiation of functional zoning during the reconstruction of the territory of the city park in Novovoronezh.* Scientific support of the Voronezh region. A collection of works by the winners of the competition of research works by students and postgraduates of VSTU in priority areas of science and technology development. Voronezh. 2024. Pp. 160-164.
10. **Mikhaylova T. V., Kononova M. S., Sazonov E. V.** *Issues of development and reorganization of recreational areas of Voronezh-city.* Housing and utilities infrastructure. 2022. No. 1(20). Pp. 72-78. DOI 10.36622/VSTU.2022.99.99.007. (in Russian)

*Received 21 November 2024*

### ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

**Конконова, М. С.** Концепция реконструкции парка «Новопарк» в городе Нововоронеж / М. С. Конконова, Э. В. Сазонов, О. В. Телюк // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 78-86. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.009.

### FOR CITATION:

**Kononova M. S., Sazonov E. V., Telyuk O. V.** *The concept of reconstruction of the Novopark park in the city of Novovoronezh.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 78-86. DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.009. (in Russian)

---

## ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

## ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

---

DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.010

УДК 528.946:534.836.2

### СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ КАТЕГОРИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ШУМА ОТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В ПРАКТИКЕ ГОРОДСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

**Е. И. Головина, Д. А. Соколов**

---

Головина Елена Ивановна, канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: egolovina@cchgeu.ru

Соколов Дмитрий Алексеевич, магистрант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел: +7(928)305-30-77; e-mail: dmitriysokolov598@gmail.com

---

Представлен анализ ключевых факторов, влияющих на уровень шума и вибрации от железнодорожного транспорта. Предложена система классификации участков, подверженных вибро-акустическому воздействию. Перечислены основные элементы и параметры, учитываемые в классификации: уровень воздействия (сильное, среднее, слабое), длина исследуемого участка, состояние железнодорожного полотна, расположение путей относительно селитебной зоны. Приведено описание методики проведения замеров, результаты которых могут быть использованы в качестве входных данных для создания карты шума. Предложен методологический подход к визуальному представлению уровней шума в определенном географическом местоположении с учетом специфики железнодорожного транспорта.

**Ключевые слова:** шум; вибрация; виброакустический фактор; железнодорожный транспорт.

Интенсивная урбанизация привела к плотной жилой застройке в непосредственной близости от железнодорожных линий, подвергая жителей таких районов к постоянному шумовому загрязнению, что имеет ряд неблагоприятных последствий для их здоровья и социального благополучия. Следовательно, существует необходимость во всеобъемлющем изучении влияния железнодорожного шума на жителей придорожных территорий.

Железнодорожный транспорт имеет ряд преимуществ перед другими видами транспорта, особенно в отношении воздействия на окружающую среду. Железные дороги меньше загрязняют окружающую среду и потребляют меньше энергии, чем воздушные или автомобильные перевозки. Перевозка грузов и пассажиров не зависит от климатических и погодных условий, что также является существенным плюсом. Высокоскоростные поезда исключительно эффективны на более протяженных маршрутах и могут стать жизнеспособной альтернативой воздушным перевозкам. Кроме того, спрос на высокоскоростные поезда и железнодорожные грузоперевозки растет во всем мире.

Влияние шума и вибрации от путей железнодорожного транспорта на окружающую среду и здоровье человека является серьезной проблемой современного города [1]. Для эффективного контроля над уровнем шума и вибрации необходимо разработать систему категорирования участков, на которые оказывает воздействие железнодорожный транспорт.

Прежде всего, необходимо провести простую классификацию участков на основе силы воздействия шума и вибрации. Такая классификация может быть разделена на три категории: сильное, среднее и слабое воздействие. При этом основными параметрами,



которые следует учитывать при формировании классификации, являются уровень звукового давления, частотный спектр шума, амплитуда вибрации, частота вибраций и продолжительность воздействия [2].

Для составления карты шума от железнодорожного транспорта необходимо учитывать специфику данного вида транспорта. Ключевыми факторами, влияющими на уровень шума и вибрации, являются тип поездов (грузовые или пассажирские), скорость движения, состояние пути, количество проходящих поездов и географическое расположение участка [3].

Исходя из вышеперечисленных параметров, можно разработать систему классификации участков, подверженных воздействию шума и вибрации от железнодорожного транспорта, что позволит эффективно контролировать и уменьшать негативное воздействие на окружающую среду и здоровье горожан.

Крайне важно учитывать периоды, когда наиболее интенсивно используется железнодорожный транспорт, чтобы учесть пиковые нагрузки и определить наиболее критические участки. Кроме того, необходимо провести мониторинг уровня шума и вибрации на регулярной основе, чтобы отслеживать изменения и обеспечивать своевременное принятие мер по снижению воздействия.

Разработка системы категорирования участков, подверженных воздействию железнодорожного транспорта, позволит управленческим органам принимать обоснованные решения по планированию городской инфраструктуры и охране окружающей среды. Такой подход способствует улучшению качества жизни горожан и созданию комфортных условий для проживания и работы в городе [4].

Как правило, для шума от железной дороги определяются линейные источники шума и уровни звукового давления от этих источников. Данные о железнодорожном трафике, количественное соотношение составов, которые максимально влияют на селитебную территорию, обычно недостаточны.

Железнодорожный шум относится к слышимым акустическим эффектам, производимым поездами при их движении по железнодорожным путям. Эти шумы могут включать в себя множество различных звуков, включая шум двигателя, шум взаимодействия колеса с рельсом, звуки сигнальных гудков и торможения.

Несмотря на существование множества источников шума на железной дороге, основные факторы, вызывающие его, можно разделить на следующие категории: шум двигателя, шум тяги, шум оборудования, качение-шум, аэродинамический шум и шум от сигналов.

Научные исследования показали, что преобладание отдельных источников железнодорожного шума может варьироваться в зависимости от скорости движения поезда. На скоростях ниже 50 км/ч, как правило, наиболее распространенными являются шум двигателя, силовой установки и оборудования [5]. Шум от качения становится основным фактором на скоростях в диапазоне от 50 до 250 км/ч [6]. И наоборот, при скорости, превышающей 250 км/ч, аэродинамический шум становится доминирующим источником железнодорожного шума [7]. Разные типы поездов (пассажирские или грузовые) издают разный уровень шума в зависимости от их устройства. Пассажирские вагоны изготавливаются из различных типов материалов, конструкции кузова, размеров, расположения частей и внутреннего перемещения. Гудок, как прерывистый источник шума, наблюдается на железнодорожных переездах, станциях и в чрезвычайных ситуациях для оповещения людей или животных о приближающемся поезде.

Методологический подход к визуальному представлению уровней шума в определенном географическом местоположении может быть представлен в виде картографирования шума. Этот процесс включает измерения шума в нескольких точках и генерирует карту или модель, отражающую распространение шума и дисперсию по региону. Эти карты используются для определения мест с чрезмерным шумом, превышающим допустимые

уровни. Несколько популярных методик, как показано ниже, используются для составления карт шума [8].

Составленные карты шума предоставляют специалистам ценную информацию для принятия обоснованных решений по снижению шумового загрязнения, содействию и созданию пригодной для жизни среды. Это может потребовать внедрения методов снижения шума, таких как установка звуковых барьеров, ограничение деятельности, которая создает шум в определенные периоды, или продвижение более тихих технологий. Картирование шума может быть проведено для конкретных источников шума или в сочетании со всеми источниками шума в исследуемом регионе, чтобы представить полный профиль шума в регионе. Преимущества, связанные с составлением карты шума: количественная оценка воздействия шума; измерение и анализ шума от первичных источников, включая районы с наиболее высоким уровнем шума [9].

Кроме того, составление карт может включать оценку потенциального воздействия повышенного уровня шума на окружающую среду, уровень шума на местное население, особенно в районах с высоким уровнем шума [10]. При составлении карты шума могут быть рассмотрены различные меры по снижению уровня шума, чтобы определить их шумопонижающий потенциал.

В качестве основополагающего параметра стоит учитывать длину железнодорожных путей, которые проходят в непосредственной близости к городу и жилой зоне, и количество поездов, которые проезжают эту территорию. Таким образом, в классификационный список можно включить такой параметр, как количество составов, которые проезжают в непосредственной близости к селитебной территории.

Для получения более точной системы категорирования, вся территория, подлежащая анализу, может разделяться на более мелкие объекты. Этот метод сможет значительно упростить включение в систему фактор структурного шума. В анализ можно ввести границы, на которых с высокой долей вероятности может возникать структурный шум. В системе категорирования также стоит учесть разделение зданий на жилые и нежилые.

Стоит упомянуть о модели, которая бы эти категории учитывала в полном объеме. Модель воздействия шума в таком случае, может состоять из четырех или пяти слоев, это такие слои, как: двухмерная (профиль местности) или же трехмерная модель местности, объекты (дома, насыпи, мосты и т.д.), отдельным слоем – рельсовое полотно, основные источники шума. После построения похожей модели окружающей среды, определяется уровень звукового давления от основных источников шума. На рис. 1 первый слой моделируемой карты.



Рис. 1. Первый слой карты

Для нашей цели, в модели можно добавить и проработать три дополнительных слоя: 1) предельные уровни шума<sup>1</sup>; 2) возможный структурный шум. На рис. 2 показан пример таких слоев.

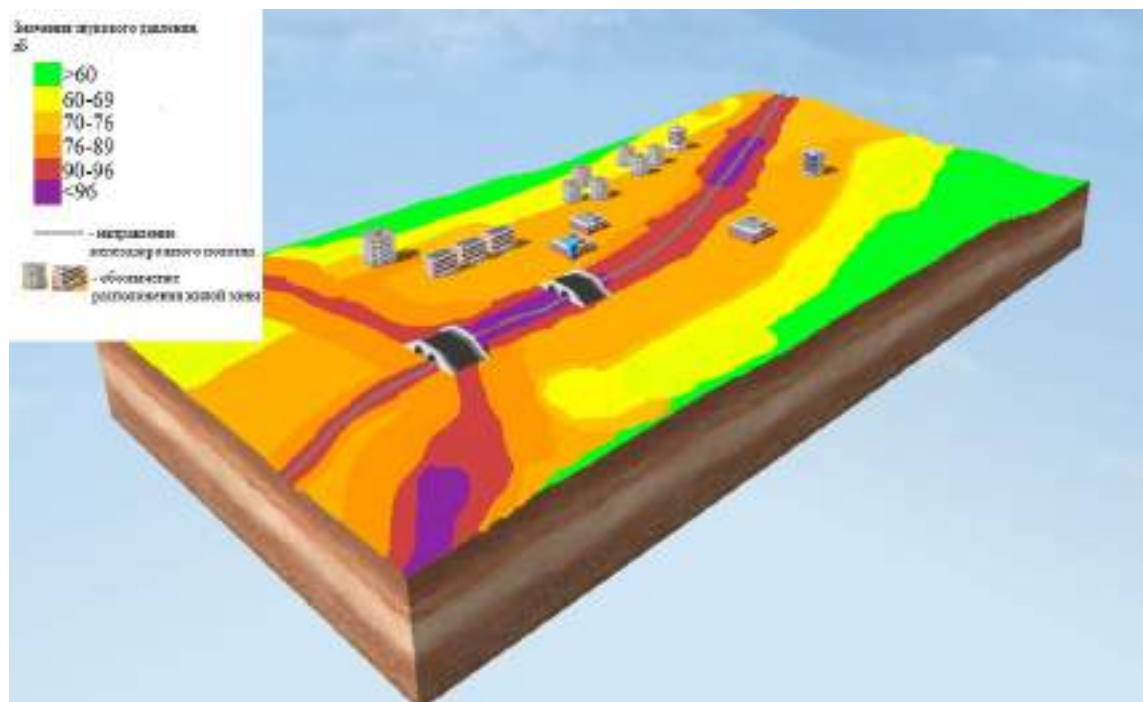


Рис. 2. Второй и третий слой карты

Для создания более подробной системы для установления категорий, следует обратиться к методу временной выборки параметров. Ее суть заключается в оптимальном выборе списка параметров, на основе которых можно создать определенные категории (категории, которые необходимы для анализа конкретной местности).

Фактические замеры контрольных точек, которые проводятся в соответствии с ГОСТ 12.1.012-2004<sup>2</sup>, согласно методике - необходим отбор нескольких точек для замера. Как правило, в процессе анализа информация об уровне звукового давления достигается за счет локальных кратковременных акустических измерений или за счет длительного мониторинга в фиксированных точках измерения.

Также для каждой основной точки измерения выполняются три раза в течение суток: утром, в середине дня и ночью. В рамках более подробного анализа, который послужит хорошей базой для создания системы категорирования – уместно делать ряд замеров в установленном время, и выбирать основные временные промежутки (особенно это актуально при замере уровней звукового давления ночью).

Для моделирования уровней шума, можно применить методику замеров по участкам, чтобы ввести их в качестве входных данных для создания карты шума. Для жилой зоны уместно сделать «шаг» замеров от 5 до 10 метров. Далее необходимо разделить территорию на участки, в зависимости от количества замеров. Стоит учитывать, что чем больше таких участков – тем более подробную карту можно составить.

Чтобы оценить степень раздражения из-за шума, создаваемого движением поездов, можно провести опрос жителей районов, которые пересекает железнодорожная линия. Та-

<sup>1</sup> СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»

<sup>2</sup> ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования

кие данные впоследствии могут быть использованы в расчете социально-экономической эффективности.

Рассмотрим параметры, которые также нужно включать в систему категорирования.

Состояние железнодорожного полотна. Разница в звуковом излучении от хорошо обслуживаемых рельсов и рельсов с износом, недостаточным уровнем подготовки поверхности может составлять 10 дБ и более. Следовательно, очень важно учитывать и использовать достоверные данные о состоянии железных дорог. Прежде чем использовать для анализа метод расчета шума от движения на железнодорожном транспорте, необходимо учесть, как этот метод учитывает неровность рельса. Если метод учитывает соответствующую шероховатость рельса, то в идеале она должна быть определена для каждого участка железнодорожного полотна.

Влияние метеорологических условий на распространение звука зависит от ряда факторов. Некоторые из них могут приводить к поглощению или отклонению звука от объекта, или, наоборот, путь прохождения звука к приемнику может быть улучшен за счет благоприятных условий распространения звука. Поскольку погодные условия могут значительно меняться во времени, эти условия могут сильно влиять на уровень шума даже ежедневно.

Комплексное исследование в системе категорирования участков воздействия шума от железнодорожного транспорта может включать в себя все вышеперечисленные элементы.

Применение различных методик позволяет увеличить качество системы категорирования для составления более детальных карт шума. Приоритетными параметрами для проработки системы категорирования могут стать:

- ✓ относительная интенсивность движения поездов на исследуемых участках.
- ✓ доли грузовых и пассажирских составов (можно в соотношении).
- ✓ средняя скорость движения составов.
- ✓ возможный уклон участка, на котором расположен железнодорожный путь.
- ✓ тип застройки по обе стороны железной дороги.
- ✓ указанные функциональные зоны на первом слое модели или защищаемые от шума объекты (в соответствии с масштабом карты).
- ✓ состояние железнодорожного полотна.
- ✓ влияние метеорологических условий.

### **Заключение.**

Рассмотрена возможность создания системы категорирования участков, на которые воздействует шум и вибрация от железнодорожного транспорта. Для создания системы предложено ввести классификацию, которая будет включать в себя такие параметры, как: уровень воздействия (сильное, среднее, слабое), длина исследуемого участка, состояние железнодорожного полотна, расположение путей относительно селитебной зоны и другие параметры.

Предложена структура модели учета воздействия шума, состоящая из нескольких слоев: двухмерная или трехмерная модель местности с имеющимися объектами (дома, насыпи, мосты и т.д.), отдельным слоем – рельсовое полотно, основные источники шума.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Соколов, Д. А.** Анализ термина «виброакустический фактор» в сфере экологической безопасности и охраны труда / Д. А. Соколов, Е. И. Головина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2023. – № 3(32). – С. 39-43.
2. **Иванов, Н. И.** Биомеханические механизмы действия низкочастотных акустических колебаний на человека / Н. И. Иванов, В. Н. Зинкин, Л. П. Сливина // Российский

журнал биомеханики. – 2020. – Т. 24. – № 2. – С. 216-231. – DOI 10.15593/RZhBiomeh/2020.2.09.

3. **Головина, Е. И.** Обеспечение безопасности труда при эксплуатации железнодорожного транспорта путем модернизации систем вибродемпфирующих накладок и рельсовых пластин / Е. И. Головина, Д. А. Соколов // Безопасность техногенных и природных систем. – 2023. – № 1. – С. 39-46. – DOI 10.23947/2541-9129-2023-1-39-46.

4. **Андрианов, Ю. В.** Правовые и методологические основы развития транспортной инфраструктуры / Ю. В. Андрианов, В. В. Комаров // Транспорт Российской Федерации. – 2016. – № 2-3(63-64). – С. 11-13.

5. **Соколов, Д. А.** Обеспечение безопасных условий труда при воздействии на работников поездных бригад виброакустических факторов / Д. А. Соколов, Е. И. Головина // Безопасность техногенных и природных систем. – 2024. – Т. 8. – № 1. – С. 50-57. – DOI 10.23947/2541-9129-2024-8-1-50-57.

6. **Куклин, Д. А.** Расчёт внешнего шум поездов / Д. А. Куклин, П. В. Матвеев // Noise Theory and Practice. – 2015. – Т. 1. – № 2(2). – С. 47-51.

7. **Титова, Т. С.** Технические решения по снижению шума от высокоскоростных железнодорожных магистралей / Т. С. Титова, А. Е. Шашурин, Ю. С. Бойко // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 2(57). – С. 30-35.

8. **Зеленько, Ю. В.** Современные подходы к контролю шума от подвижного состава и созданию шумовых карт железных дорог / Ю. В. Зеленько, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 3(58). – С. 50-53.

9. **Николаева, О. Н.** Обзор существующих подходов к расчету и картографированию уровней шумового загрязнения территории / О. Н. Николаева, И. А. Краснопольский // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – Т. 4. – С. 210-219. – DOI 10.33764/2618-981X-2022-4-210-219.

10. **Соколов, Д. А.** Визуальное представление воздействия виброакустического фактора от железнодорожного транспорта на селитебную зону / Д. А. Соколов, Е. И. Головина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 1(28). – С. 118-125. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.012.

*Поступила в редакцию 12 ноября 2024*

## **CREATING A SITE CATEGORIZATION SYSTEM EFFECTS OF NOISE FROM RAILWAY TRANSPORT IN THE PRACTICE OF URBAN MAPPING**

**E. I. Golovina, D. A. Sokolov**

---

Elena Ivanovna Golovina, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: egolovina@cchgeu.ru  
Dmitry Alekseevich Sokolov, Master's Student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(928)305-30-77; e-mail: dmitriysokolov598@gmail.com

---

The article presents analysis of key factors influencing the level of noise and vibration from rail transport. We proposed a classification system for areas subject to vibration and acoustic impact. We list the main elements and parameters taken into account in the classification such as the level of impact (strong, medium, low), the length of the section under study, the condition of the railway track, the location of the tracks relative to the residential area. We describe the measurement methodology, the results of which can be used as input data for creating a noise map. We as well propose a methodological approach to the visual representation of noise levels in a given geographic location, taking into account the specifics of railway transport.

**Keywords:** noise; vibration; vibroacoustic factor; railway transport.

## REFERENCES

1. **Sokolov D. A., Golovina E. I.** *Analysis of the term "vibroacoustic factor" in the field of environmental safety and labor protection.* Urban development. Infrastructure. Communications. 2023. No. 3(32). Pp. 39-43. (in Russian)
2. **Ivanov N. I., Zinkin V. N., Slivina L. P.** *Biomechanical mechanisms of action of low-frequency acoustic vibrations on humans.* Russian Journal of Biomechanics. 2020. Vol. 24. No. 2. Pp. 216-231. DOI 10.15593/RZhBiomeh/2020.2.09. (in Russian)
3. **Golovina E. I., Sokolov D. A.** *Ensuring labor safety during operation of railway transport by modernizing systems of vibration damping pads and rail plates.* Safety of man-made and natural systems. 2023. No. 1. Pp. 39-46. DOI 10.23947/2541-9129-2023-1-39-46. (in Russian)
4. **Andrianov Yu. V., Komarov V. V.** *Legal and methodological foundations for the development of transport infrastructure.* Transport of the Russian Federation. 2016. No. 2-3 (63-64). Pp. 11-13. (in Russian)
5. **Sokolov D. A., Golovina E. I.** *Ensuring safe working conditions when train crew workers are exposed to vibroacoustic factors.* Safety of man-made and natural systems. 2024. Vol. 8. No. 1. Pp. 50-57. DOI 10.23947/2541-9129-2024-8-1-50-57. (in Russian)
6. **Kuklin D. A., Matveev P. V.** *Calculation of external noise of trains.* Noise Theory and Practice. 2015. V. 1. No. 2(2). Pp. 47-51. (in Russian)
7. **Titova T. S., Shashurin A. E., Boyko Yu. S.** *Technical solutions for reducing noise from high-speed railway lines.* Transport of the Russian Federation. 2015. No. 2(57). Pp. 30-35. (in Russian)
8. **Zelenko Yu. V., Myamlin S. V., Neduzhaya L. A.** *Modern approaches to monitoring noise from rolling stock and creating noise maps of railways.* Transport of the Russian Federation. 2015. No. 3(58). Pp. 50-53. (in Russian)
9. **Nikolaeva O. N., Krasnopolsky I. A.** *Review of existing approaches to calculating and mapping noise pollution levels in a territory.* Interexpo Geo-Siberia. 2022. Vol. 4. Pp. 210-219. DOI 10.33764/2618-981X-2022-4-210-219. (in Russian)
10. **Sokolov D. A., Golovina E. I.** *Visual representation of the impact of the vibroacoustic factor from railway transport on a residential area.* Housing and communal infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 118-125. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.012. (in Russian)

Received 12 November 2024

**Для цитирования:**

**Головина, Е. И.** Создание системы категорирования участков воздействия шума от железнодорожного транспорта в практике городского картографирования / Е. И. Головина, Д. А. Соколов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 87-93. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.010.

**FOR CITATION:**

**Golovina E. I., Sokolov D. A.** *Creating a site categorization system effects of noise from railway transport in the practice of urban mapping.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 87-93. DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.010. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.011

УДК 504.064.45:332.142.6

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Т. В. Ашихмина, П. С. Куприенко, С. Н. Золотухин

Ашихмина Татьяна Валентиновна, канд. геогр. наук, доцент, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел. +7(910)341-79-19; e-mail: tv\_ashikhmina@bk.ru

Куприенко Павел Сергеевич, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой техносферной и пожарной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел. +7(473)271-30-00; e-mail: togochs.kaf@cchgeu.ru

Золотухин Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел. +7(473)271-53-84; e-mail: Ser6812@yandex.ru

Приведен анализ экологической составляющей оценки возможных вариантов обращения с отходами реконструкции и сноса строительной отрасли. Проведенный анализ позволил установить факторы, уменьшающие воздействие данных отходов на окружающую среду в случае их использования, как вторичных строительных материалов. Также проведенный анализ показал, что в процессе подготовки (переработки) отходов для повторного использования необходимо принимать во внимание потенциально негативные экологические аспекты. Представлены разработанные авторами и эффективно применяющиеся технологии повторного использования отходов поэлементного демонтажа зданий и сооружений – ребристых плит перекрытия. Проведенная экологическая оценка возможных вариантов обращения с отходами сноса зданий и сооружений позволила ранжировать их от экологически недопустимых до экологически предпочтительных и, соответственно, выделить тенденцию выбора экологически позитивных вариантов. Показана необходимость оценки эффективности применения вторичных строительных материалов с учетом экологических показателей, рассчитываемых согласно требованиям актуальных нормативно-правовых актов.

**Ключевые слова:** строительные отходы; вторичные строительные материалы; экологическая оценка процессов обращения с отходами; поэлементный демонтаж; отходы сноса и реконструкции.

Интенсивно развивающаяся строительная отрасль является мощнейшим фактором преобразования среды обитания человека, создающим значительную нагрузку на окружающую среду, которая обусловлена, с одной стороны, потреблением природных ресурсов – строительных материалов, с другой - образованием строительных отходов.

Накопление большого количества отходов производства и потребления, в том числе строительных отходов, в окружающей природной среде является серьезной экологической проблемой сегодняшнего дня. Многочисленными исследованиями установлено негативное воздействие отходов и продуктов их трансформации на все компоненты окружающей среды – воздух, почвы, поверхностные и подземные воды, животный и растительный мир [1...4].

По данным ряда исследователей в нашей стране ежегодное образование строительных отходов, в среднем, составляет 15...17 млн. т. В их составе преобладают кирпичные и железобетонные компоненты – более 60 %. Накопленная масса отходов сноса и реконструкции при соответствующей переработке позволит получить вторичные строительные материалы – металл (более 1,5 млн. т) и бетонный лом (порядка 40 млн. т). При этом значительная часть строительных отходов размещается на полигонах ТКО [5, 6]. Необходимо

отметить, что, согласно данным Росприроднадзора, на территории РФ ежегодно фиксируется более 10000 шт. несанкционированных свалок (таблица).

Количество несанкционированных свалок, шт., зафиксированных в РФ на конец отчетного года согласно данным Росприроднадзора

| 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | 2023 г. |
|---------|---------|---------|---------|
| 13404   | 15392   | 12795   | 10334   |

По различным данным от 25 до 80 % компонентного состава таких свалок составляют строительные отходы [7, 8].

Проводимая в нашей стране реформа системы обращения с отходами предполагает переход к экономике замкнутого цикла, ключевым моментом которой является вторичное применение отходов производства и потребления. Учитывая масштабы и темпы развития строительной отрасли, вопросы применения строительных отходов в качестве строительных материалов являются как нельзя более актуальными.

Разработка и применение технологий замкнутого цикла в строительстве включают разносторонние аспекты – технические, технологические, организационные, экономические. Необходимо и обязательно также принимать во внимание требование обеспечения техносферной и экологической безопасности [9].

Целью настоящей работы является анализ экологической составляющей и показателей экологической оценки в вопросах применения вторичных строительных материалов.

Экологическая опасность строительных отходов обусловлена прежде всего их структурой и компонентным составом.

В целом, строительные отходы можно разделить на:

- ✓ отходы производства строительных материалов;
- ✓ отходы, образующиеся в результате проведения строительных работ;
- ✓ отходы от сноса ветхих сооружений.

Структура строительных отходов различается в зависимости от их источника (рис. 1).

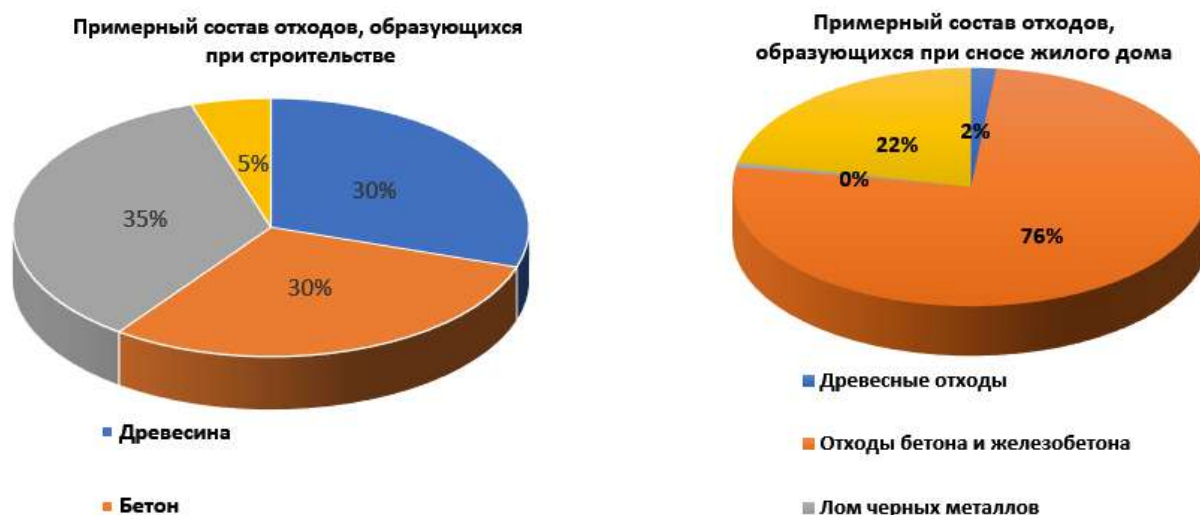


Рис. 1. Структура строительных отходов [10, 11]

Большую часть строительных отходов, порядка 95 % от общего количества, составляют отходы от капитального ремонта и реконструкции зданий и сооружений.

Компонентный состав некоторых отходов по данным государственного кадастра отходов приведен на рис. 2.





Рис. 2. Состав и физические свойства отходов реконструкции и сноса

Отходы сноса и реконструкции имеют длительный срок разложения в естественной среде [12] и, соответственно, длительный период их негативного воздействия на различные компоненты окружающей среды. При этом большая часть таких отходов может использоваться повторно с условием необходимой переработки после разрушающего сноса или без нее в случае поэтапного демонтажа зданий и сооружений (рис. 3).

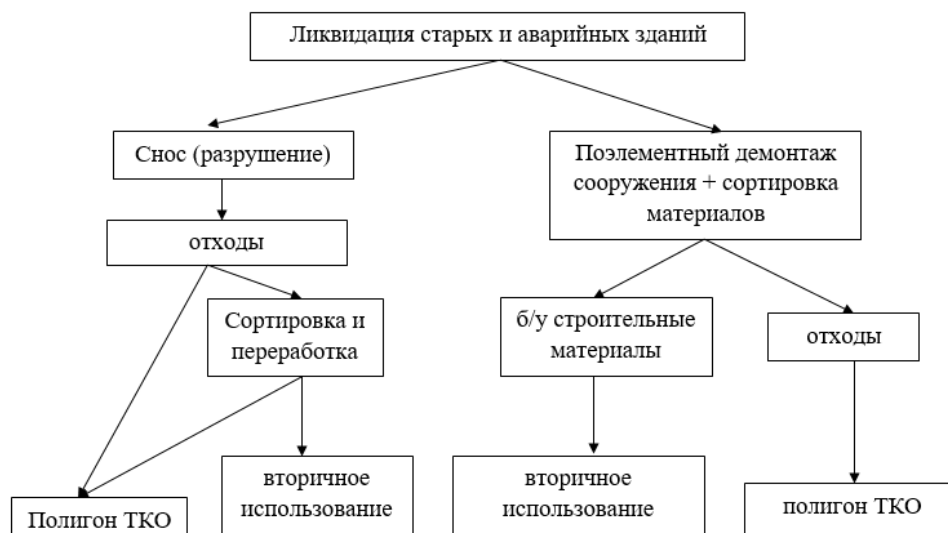


Рис. 3. Схема образования и обращения с отходами сноса в строительстве

Использование отходов сноса в качестве вторичных строительных материалов позволяет значительно снизить нагрузку на окружающую среду за счет:

- ✓ снижения количества и площадей несанкционированных свалок;
- ✓ минимизации нерационального использования земель, занятых полигонами ТКО;
- ✓ ресурсосбережения;

- ✓ сокращения объемов поступления и аккумуляции загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды;
- ✓ снижения негативного воздействия на растительный и животный мир территорий, прилегающих к объектам размещения отходов;
- ✓ минимизации пожарных рисков на объектах размещения отходов и связанных с ними экологических последствий.

Авторами проведен анализ экологических аспектов обращения с отходами железобетона, имеющими наибольшую массу среди элементов сноса зданий и сооружений. Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО) такие отходы относятся к Блоку 8. Согласно ГОСТ Р 70102-2022, отходы строительства и ремонта, включают лом бетонных, железобетонных изделий, отходы цемента, отходы щебня и относятся к IV (малоопасные) и V (практически неопасные) классам опасности:

Низкий класс опасности перечисленных отходов позволяет размещать их на полигонах ТКО. Экологическими последствиями такого способа обращения с ними являются:

- ✓ увеличение нагрузки на полигоны, их жизненного цикла (срок разложения отходов составляет десятки и сотни лет);
- ✓ формирование зоны геохимического загрязнения на месте размещения полигона и на прилегающих территориях;
- ✓ формирование накопленного вреда окружающей среде;
- ✓ при недостаточности мощностей полигонов ТКО для размещения больших объемов строительных отходов возникает риск появления и разрастания несанкционированных свалок, природоохранные мероприятия на которых отсутствуют.

Основные проблемы, связанные с повторным использованием отходов реконструкции и сноса заключаются в необходимости их предварительной подготовки. Схема подготовки смешанных строительных отходов включает последовательную сортировку (грохочение) и классификацию материалов. Приведенные технологические решения возможно осуществлять на месте образования отходов, а также на стационарных предприятиях или мобильных установках [13].

Таким образом, для подготовки к использованию смешанных отходов сноса необходим ряд дополнительных условий: наличие территорий или производственных зданий, технических средств, обслуживающего их персонала и т.д. По сути, подготовка таких отходов к использованию представляет собой технологический процесс, в котором сырьем являются смешанные отходы, а конечными продуктами – отдельные фракции или компоненты отходов, обладающие необходимыми, заранее обозначенными показателями [14].

Следует понимать, что выполнение перечисленных условий и непосредственно технологический процесс переработки отходов во вторичные строительные материалы также являются потенциальными источниками негативного воздействия на окружающую среду, основные аспекты которого обусловлены:

- ✓ отведением земельного участка для накопления отходов и проведения необходимых операций (воздействие на земельные ресурсы);
- ✓ строительством и размещением инженерных сооружений для подготовки отходов (воздействие на земельные ресурсы);
- ✓ образованием пыли при сортировке отходов, выбросами загрязняющих веществ в атмосферу при работе техники, (воздействие на атмосферный воздух, воздействие на поверхность почвы после осаждения частиц, воздействие на обслуживающий персонал);
- ✓ образование не утилизируемых отходов при сортировке (размещение их на полигонах ТКО с соответствующими экологическими последствиями).

Поэлементный демонтаж зданий и сооружений является более экологичным способом сноса, поскольку сокращает количество промежуточных операций от сноса до применения отходов.

Примерами экологически позитивного направления использования отходов поэлементного демонтажа зданий и сооружений (ребристых плит перекрытия) являются технологические решения, разработанные специалистами Воронежского государственного технического университета:

- ✓ технология устройства стенчатых и плитно-ребристых фундаментов [15, 16] (рис. 4);
- ✓ технология возведения подпорных стен [17].



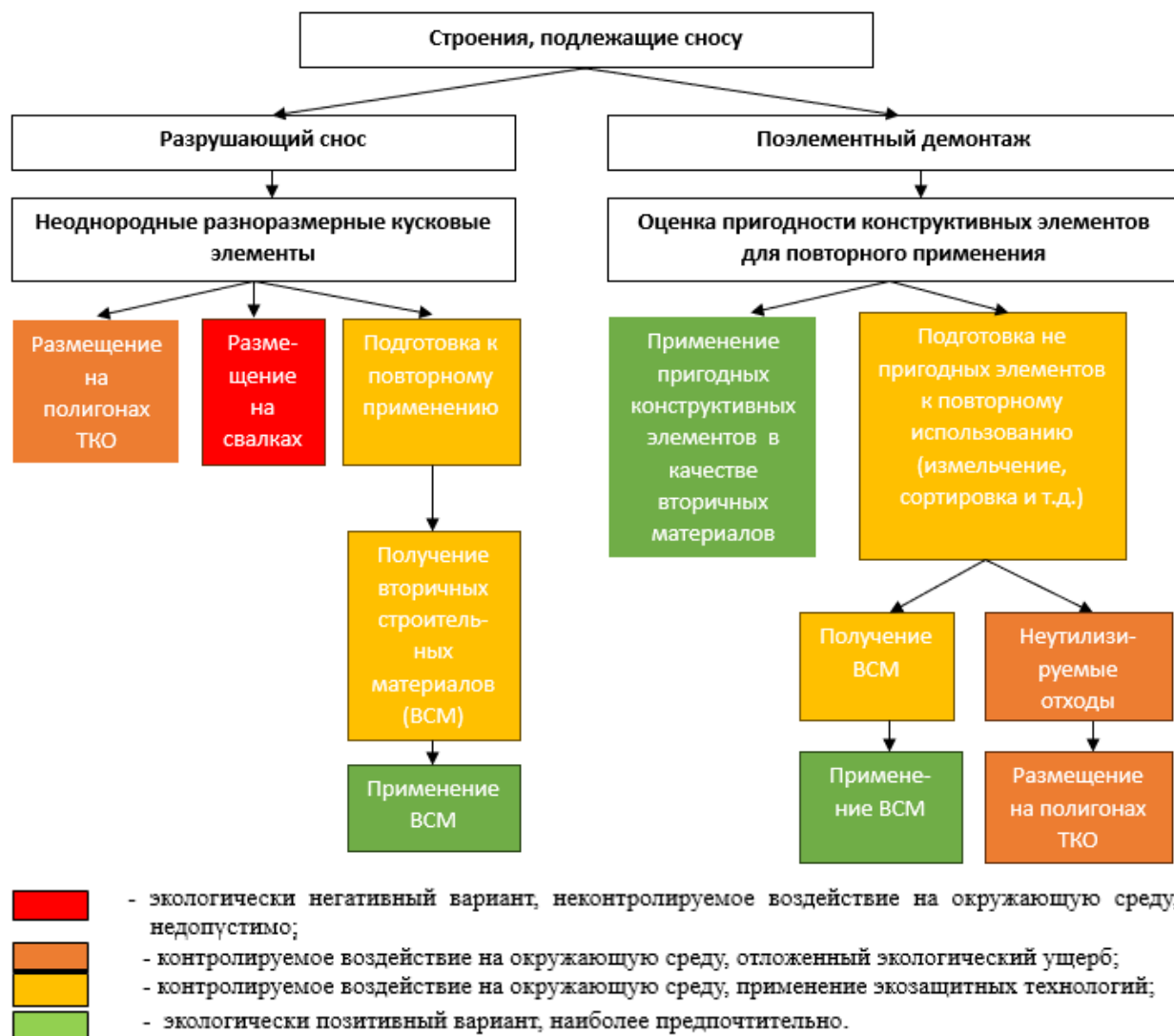
Рис. 4. Общий вид стенчатых и плитно-ребристых фундаментов, изготовленных из вторичных строительных материалов: а – отходы ребристых плит перекрытия при поэлементном демонтаже зданий и сооружений; б – сплошной плитный фундамент из ребристых плит перекрытия; в – стенчатый фундамент из ребристых плит перекрытия

Экологическое значение предлагаемых способов повторного применения ребристых плит перекрытий заключается в снижении нагрузки на окружающую среду за счет уменьшения количества отходов, вывозимых на полигоны и свалки, а также за счет снижения потребления природных ресурсов. Плиты, получаемые при демонтаже, практически не требуют подготовки для дальнейшего применения, что также не создает дополнительную нагрузку на компоненты окружающей среды.

Необходимо отметить, что элементы демонтажа, как правило, имеют те или иные повреждения, что связано с их изначальным креплением при строительстве. Поэтому при

решении вопроса о повторном использовании строительных материалов необходимо проводить их диагностику (визуальную или техническую).

Общая схема проведения экологической оценки способов обращения с отходами сноса представлена на рис. 5.



- экологически негативный вариант, неконтролируемое воздействие на окружающую среду, недопустимо;
- контролируемое воздействие на окружающую среду, отложенный экологический ущерб;
- контролируемое воздействие на окружающую среду, применение экозащитных технологий;
- экологически позитивный вариант, наиболее предпочтительно.

Рис. 5. Экологическая оценка возможных вариантов обращения с отходами сноса и реконструкции

Таким образом, проведенный анализ экологически значимых аспектов в обращении со строительными отходами показал предпочтительную тенденцию выбора экологически позитивных вариантов получения и применения ВСМ. Процесс принятия решения о направлении обращения с отходами должен проводиться с учетом следующих составляющих:

- ✓ оценки экономической эффективности (себестоимость вторичных строительных материалов, прибыль от их использования);
- ✓ оценки экологических показателей, таких как предотвращенный экологический ущерб, экологические платежи за пользование природными ресурсами и за негативное воздействие на окружающую среду;
- ✓ презумпции потенциальной экологической опасности любой намечаемой деятельности.

Согласно имеющимся данным, стоимость производства бетона на вторичном щебне снижается на 14,35...17,63 % (в расчете на 1 м<sup>3</sup>) относительно производства бетона на природном щебне. В ряде случаев применение специальных добавок позволяет снизить и

расход других компонентов, например, цемента, что также уменьшает себестоимость бетона.

При необходимости применения технических средств и производственных мощностей переработки бетонного лома и, соответственно, удорожания вторичного щебня именно экологический эффект от использования отходов позволяет снизить на 15...20 % себестоимость вторичного строительного материала [18].

Таким образом, в целом, эффективность использования вторичных строительных материалов определяется экономической и экологической составляющими:

$$K = K_1 + K_2, \quad (1)$$

где  $K_1$  – экономический эффект от использования вторичных материалов, (руб.) представляет собой разницу между стоимостью вторичных и первичных материалов с учетом производственных издержек;  $K_2$  – экологический эффект от использования вторичных материалов, (руб.) определяется одним или несколькими составляющими из нижеперечисленных:

- ✓ плата за размещение отходов на полигоне;
- ✓ размер предотвращенного ущерба от захламления земель несанкционированными свалками;
- ✓ ущерб от загрязнения земель химическими веществами;
- ✓ плата за использование природных ресурсов;
- ✓ экологический сбор, рассчитываемый согласно требованиям актуальных нормативно-правовых актов.

Необходимо учитывать, что подготовка строительных отходов к применению в качестве вторичных строительных материалов зачастую представляет собой технологический процесс, являющийся потенциально опасным для окружающей среды, как и любая деятельность человека.

### **Заключение.**

Проведен анализ экологической составляющей оценки возможных вариантов обращения со строительными отходами, образующимися при реконструкции и сносе зданий. В результате установлены факторы, снижающие нагрузку на окружающую среду при использовании отходов сноса в качестве вторичных строительных материалов.

Показана необходимость учета потенциально негативных экологических аспектов при подготовке (переработке) отходов для повторного использования.

В результате экологической оценки возможных вариантов обращения с отходами сноса зданий и сооружений проведено ранжирование их от экологически недопустимых до экологически предпочтительных, выделена тенденция выбора экологически позитивных вариантов.

Предложен вариант оценки эффективности применения вторичных строительных материалов с учетом экономических и экологических показателей, рассчитываемых с учетом нормативно-правовых актов.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Ашихмина, Т. В.** Анализ негативных экологических последствий эксплуатации полигона твердых коммунальных отходов г. Воронежа на разных этапах его жизненного цикла / Т. В. Ашихмина, Н. В. Каверина, П. С. Куприенко // Региональные геосистемы. – 2020. – Том 44. – № 3. – С. 343-358.

2. Почему и как необходимо бороться со строительными отходами / К. А. Бахметьев, П. С. Куприенко, Т. В. Ашихмина, С. Н. Букша // Химия, физика и механика материалов. – 2023. – № 4(39). – С. 90-107.

3. Анализ основных тенденций развития системы обращения с отходами в России: проблемы и перспективы / Ю. Жукова, С. Никулина, О. Яковлева, Е. Чериканова // Экология и промышленность России. – 2020. – 24(8). – С. 66-71.

4. **Мочалова, Л. А.** Система обращения с твердыми коммунальными отходами: зарубежный и отечественный опыт / Л. А. Мочалова, Д. А. Гриненко, В. В. Юрак // Известия Уральского государственного горного университета. – № 3(47). – 2017. – С. 97-101.

5. Оптимизация системы ресурсосберегающего обращения со строительными отходами в Воронежской области как фактор снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду / Т. В. Ашихмина, С. Н. Золотухин, П. С. Куприенко, В. А. Помогалов // Наука, технологии, общество: экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий: сборник научных трудов III Всероссийской научной конференции с международным участием. – Красноярск, 2022. – С. 694-703.

6. **Олейник, С. П.** Строительные отходы при реконструкции зданий и сооружений сноса / С. П. Олейник // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». 2016. – Том 3. – № 2. – URL: <http://resources.today/PDF/02RRO216.pdf>. (Дата обращения 12.10.2022).

7. **Загорская, Е. П.** Несанкционированные свалки – стихийный антропогенный фактор на урбанизированных территориях / Е. П. Загорская, Р. И. Чигарев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20. – № 5(4). – С. 593-598.

8. **Олейник, С. П.** Объемы и источники образования отходов строительства и сноса / С. П. Олейник // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». – 2016. – Том 3. – № 1. – URL: <http://resources.today/PDF/02RRO116.pdf>. (Дата обращения 13.10.2022).

9. **Куприенко, П. С.** Некоторые аспекты безопасности применения вторичных строительных материалов / П. С. Куприенко, Т. В. Ашихмина, Н. С. Полянская // Гражданская оборона и природно-технические системы : сборник статей по материалам XIX Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2023. – С. 438-441.

10. **Зинченко, А. А.** Схема обращения с отходами строительства и их вовлечения в повторный оборот / А. А. Зинченко // Твердые бытовые отходы. – 2023. – № 5(203). – С. 22-25.

11. **Олейник, П. П.** Организация системы управления переработкой строительных отходов / П. П. Олейник, Л. С. Григорьева // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2014. – Вып. 2(33). – С. 25. – URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru>. (Дата обращения 13.10.2022).

12. **Каунова, А. С.** Современные методы утилизации строительных отходов / А. С. Каунова, М. А. Михайлова // Электронный научный журнал. – 2017. – № 1-2(16). – С. 218-221.

13. **Николаев, А. А.** О технологиях сортировки и переработки строительных отходов / А. А. Николаев // Твердые бытовые отходы. – 2021. – № 8(182). – С. 36-39.

14. Актуализация и интеллектуализация информационных ресурсов системы обращения с отходами сноса в строительстве / А. И. Мохов, Т. В. Ашихмина, П. С. Куприенко, В. А. Помогалов // Управление отходами производства и потребления в процессе перехода к экономике замкнутого цикла: Сборник статей по материалам общероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2024. – С. 4-7.

15. **Екубов, С. А.** Некоторые аспекты разработки и внедрения строительных технологий замкнутого цикла / С. А. Екубов, С. Н. Золотухин // Химия, физика и механика материалов. – 2022. – № 3(34). – С. 47-57.

16. **Золотухин, С. Н.** Рациональное использование строительных отходов / С. Н. Золотухин, К. В. Макарычев, Е. О. Повалев // Современные научные исследования и инновации. – 2020. – № 1. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2020/01/91197>. (дата обращения: 05.11.2024).

17. Патент № 2814444 С1 Российская Федерация, МПК E02D 29/02. Подпорная стена: № 2023108555: заявл. 04.04.2023: опубл. 28.02.2024 / С. Н. Золотухин, П. С. Куприенко, Т. В. Ашихмина [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет».

18. Янев, Г. В. Эколого-экономическое обоснование мероприятий по переработке отходов строительства и сноса ветхого жилищного фонда: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Г. В. Янев. – Москва, 2007. – 186 с.

Поступила в редакцию 16 ноября 2024

## ENVIRONMENTAL ASPECTS OF THE USE OF SECONDARY BUILDING MATERIALS

T. V. Ashikhmina, P. S. Kuprienko, S. N. Zolotukhin

---

Tatyana Valentinovna Ashikhmina, Cand. Sc. (Geology), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(910)341-79-19; e-mail: tv\_ashikhmina@bk.ru

Pavel Sergeevich Kuprienko, Dr. Sc. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-30-00; e-mail: togochs.kaf@cchgeu.ru

Sergey Nikolaevich Zolotukhin, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Structures and Foundations named after Professor Y. M. Borisov, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-53-84; e-mail: Ser6812@yandex.ru

---

In the article we present the analysis of the environmental component of the assessment of possible options for waste management of reconstruction and demolition of the construction industry. The analysis made it possible to identify factors that reduce the impact of these wastes on the environment if they are used as secondary building materials. The analysis also showed that in the process of preparing the waste to be reused, it is necessary to take into account potentially negative environmental aspects. Here we present *ribbed floor slabs*, the technologies that we developed and effectively applied for the reuse of waste from the piecemeal dismantling of buildings and structures. The conducted environmental assessment of possible options for waste management of demolition of buildings and structures made it possible to rank them from environmentally unacceptable to environmentally preferable and, accordingly, highlight the tendency to choose environmentally positive options. We as well show the necessity of evaluating the effectiveness of the use of secondary building materials, taking into account environmental indicators calculated according to the requirements of current regulatory legal acts.

**Keywords:** construction waste; secondary building materials; environmental assessment of waste management processes; piecemeal dismantling; demolition and reconstruction waste.

## REFERENCES

1. Ashikhmina T. V., Kaverina N. V., Kuprienko P. S. *Analysis of the negative environmental consequences of the operation of the Voronezh solid municipal waste landfill at different stages of its life cycle*. Regional geosystems. 2020. Vol. 44. No. 3. Pp. 343-358. (in Russian)
2. Bakhmetyev K. A., Kuprienko P. S., Ashikhmina T. V., Buksha S. N. *Why and how it is necessary to deal with construction waste*. Chemistry, physics and mechanics of materials. 2023. No. 4(39). Pp. 90-107. (in Russian)

3. **Zhukova Yu., Nikulina S., Yakovleva O., Cherikanova E.** *Analysis of the main trends in the development of the waste management system in Russia: problems and prospects.* Ecology and Industry of Russia. 2020. 24(8). Pp. 66-71. (in Russian)
4. **Mochalova, L. A., Grinenko D. A., Yurak V. V.** *Solid municipal waste management system: foreign and domestic experience.* Izvestia of the Ural State Mining University. No. 3(47). 2017. Pp. 97-101. (in Russian)
5. **Ashikhmina T. V., Zolotukhin S. N., Kuprienko P. S., Pomogalov V. A.** *Optimization of the system of resource-saving management of construction waste in the Voronezh region as a factor in reducing anthropogenic pressure on the environment.* Science, technology, society: environmental engineering in the interests of sustainable development of territories: collection of scientific papers of the III All-Russian Scientific conferences with international participation. Krasnoyarsk. 2022. Pp. 694-703. (in Russian)
6. **Oleinik S. P.** *Construction waste during the reconstruction of buildings and structure.* Online magazine Waste and Resources. 2016. Vol. 3. No. 2. URL: <http://resources.today/PDF/02RRO216.pdf> (Accessed 12.10.2022). (in Russian)
7. **Zagorskaya E.P., Chigarev R.I.** *Unauthorized landfills – a spontaneous anthropogenic factor in urbanized territories.* Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. Vol. 20. No. 5(4). Pp. 593-598. (in Russian)
8. **Oleinik S.P.** *Volumes and sources of waste generation of construction and demolition.* Online magazine Waste and Resources. 2016. Vol. 3. No. 1. URL: <http://resources.today/PDF/02RRO116.pdf> (Accessed 13.10.2022). (in Russian)
9. **Kuprienko P. S., Ashikhmina T. V., Polyanskaya N. S.** *Some aspects of the safety of the use of secondary building materials.* Civil defense and natural-technical systems: collection of articles based on the materials of the XIX International Scientific and Practical Conference. Voronezh, Voronezh State Technical University. 2023. Pp. 438-441. (in Russian)
10. **Zinchenko A. A.** *Scheme of construction waste management and their involvement in re-circulation.* Solid household waste. 2023. No. 5(203). Pp. 22-25 (in Russian)
11. **Oleinik P. P., Grigorieva L. S.** *Organization of the management system for the processing of construction waste.* VolgGASU Internet Bulletin. Ser.: Polythematic. 2014. Issue 2(33). Article 25. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru>. (Accessed 13.10.2022). (in Russian)
12. **Kaunova A. S., Mikhailova M. A.** *Modern methods of recycling construction waste.* Electronic scientific journal. 2017. No 1-2(16). Pp. 218-221. (in Russian)
13. **Nikolaev A. A.** *On technologies of sorting and processing of construction waste.* Solid household waste. 2021. No. 8(182). Pp. 36-39. (in Russian)
14. **Mokhov A. I., Ashikhmina T. V., Kuprienko P. S., Pomogalov V. A.** *Actualization and intellectualization of information resources of the demolition waste management system in construction.* Waste management of production and consumption in the process of transition to a closed economy series: Collection of articles based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation. Voronezh. 2024. Pp. 4-7. (in Russian)
15. **Yekubov S. A., Zolotukhin S. N.** *Some aspects of the development and implementation of closed-loop construction technologies.* Chemistry, physics and mechanics of materials. 2022. No. 3(34). Pp. 47-57. (in Russian)
16. **Zolotukhin S. N., Makarychev K. V., Povalyaev E. O.** *Rational use of construction waste.* Modern scientific research and innovations. 2020. No. 1 [Electronic resource]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2020/01/91197> (date of application: 05.11.2024). (in Russian)
17. **Patent No. 2814444 C1** Russian Federation, IPC E02D 29/02. Retaining wall: No. 2023108555: application 04.04.2023: publ. 02/28/2024 / S. N. Zolotukhin, P. S. Kuprienko, T. V. Ashikhmina [et al.]; the applicant is the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Voronezh State Technical University. (in Russian)



18. **Yanev G. V.** Ecological and economic justification of measures for recycling waste from construction and demolition of dilapidated housing stock: dis. ... candidate of Economic Sciences: 08.00.05. G. V. Yanev. Moscow. 2007. 186 p. (in Russian)

*Received 16 November 2024*

**Для цитирования:**

**Ашихмина, Т. В.** Экологические аспекты применения вторичных строительных материалов / Т. В. Ашихмина, П. С. Куприенко, С. Н. Золотухин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 94-104. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.011.

**FOR CITATION:**

**Ashikhmina T. V., Kuprienko P. S., Zolotukhin S. N.** *Environmental aspects of the use of secondary building materials*. Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 94-104. DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.011. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.012

УДК 551.558.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АТМОСФЕРЫ ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ РУССКОЙ РАВНИНЫ ПО ПАРАМЕТРУ ПАСКУИЛЛА

**Л. М. Акимов, Е. Л. Акимов**

Акимов Леонид Мусамудинович, канд. геогр. наук, доцент, заведующий кафедрой природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация, тел. +7(951)850-49-82, +7(473)266-56-54; e-mail: akl63@bk.ru

Акимов Евгений Леонидович, канд. геогр. наук, доцент кафедры природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация, тел. +7(473)266-56-54; e-mail: akimovvsu@gmail.com

Представлены результаты изучения пространственно-временных особенностей распределения класса устойчивости Паскуилла (Pasquill, F.) на территории центральной части Русской равнины. Материалы и методы исследования основываются на анализе ежедневных данных наземных наблюдений со стационарных метеорологических станций расположенных на исследуемой территории за период (1973...2023 гг.), а также данных аэрологических станций. Результатами исследования явилось установление пространственных и временных закономерностей распределения классов устойчивости Паскуила в различные сезоны года. Установлено, что по ветровому режиму, на территории центральной части Русской равнины летом преобладают классы устойчивости Паскуила В-С, а зимой классы С-D.

**Ключевые слова:** устойчивость атмосферы; индексы плавучести; параметр Паскуилла метеорологические параметры; синоптическая ситуация; тип погоды.

Технический прогресс и развитие общества, наряду с положительным воздействием достижений науки и технологий на жизнедеятельность населения, оказывают определенный вред окружающей среде. Последствиями вреда окружающей среде являются не только локальные, но и глобальные экологические катастрофы. К наиболее распространенным и опасным последствиям негативного воздействия на окружающую среду является загрязнение атмосферного воздуха. Данное направление природоохранной политики государства относится к приоритетным, в области охраны окружающей среды и определяется соблюдением требований Федеральных норм и правил в области охраны атмосферного воздуха. Разработаны нормативно-правовые акты, регламентированные Федеральным законом от 04.05.1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха», а также разработан ГОСТ 17.2.1.04-77 «Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Термины и определения».

Наиболее перспективным решением данной проблемы является разработка методов прогнозирования опасной экологической ситуации, загрязнения атмосферного воздуха. Для реализации данной проблемы, в настоящее время, применяются различные физико-математические методы моделирования процессов рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере с использованием различных параметров и факторов как антропогенного, так и природного характера. Наиболее важными природными факторами выступают метеорологические и аэрологические параметры атмосферы, определяющие ее способность к турбулентному обмену и вертикальному перемешиванию воздуха способствующие накоплению и рассеиванию загрязняющих веществ в атмосфере. Влиянию метеорологических параметров на концентрацию загрязняющих веществ в атмосфере посвящено большое количество работ (Акимов Л.М. [1, 2], Безуглая Э.Ю. [3, 4] и др.).

© Акимов Л. М., Акимов Е. Л., 2024

В трудах Акимова Л. М. [1], Назаренко А.В. [5] отмечена статистически значимая роль данных вертикального зондирования атмосферы с целью прогнозирования экологической обстановки, т.к. вертикальное перемешивание, вызванное турбулентными движениями, приводит к переносу по высоте всевозможных атмосферных примесей, водяного пара, количества движения и других свойств отдельных частиц.

В работе Акимова Л. М. [2] проведена корреляционная связь между параметрами устойчивости атмосферы и концентрациями формальдегида, установлена умеренная величина связи ( $R=-0,44$ ). Оценка устойчивости состояния атмосферы осуществлялась на основании анализа рассчитанных значений индекса плавучести LI (Lifted Index, LI), Galway (1956) [6].

Наибольшее применение методов анализа устойчивости атмосферы нашло отражение в авиационной метеорологии при прогнозе гроз. Наиболее часто встречающимися показателями также выступают *Индекс потенциала грозы (Showalter index)*, Showalter (1947) [7], *Показатель сильной непогоды (SWEAT index)*, Miller (1972) [8] и другие показатели.

Интенсивность вертикальных движений воздуха определяет устойчивость атмосферы, оцениваемая различными количественными индексами, а также качественными показателями. Оценка стабильности атмосферы с помощью качественного подхода при определении параметров боковой и вертикальной горизонтальной дисперсии осуществляется в классификации Паскуилла (Pasquill, F. 1961), позже модифицированная Гиффордом (1961) и называемая классом устойчивости Паскуилла-Гиффорда (PG) [9, 10].

*Целью* проводимого исследования является изучение пространственно-временных особенностей распределения класса устойчивости Паскуилла (Pasquill, F.) на территории центральной части Русской равнины.

Мониторинг метеорологических параметров атмосферы в городе Воронеже на стационарных постах наблюдения осуществляется «Воронежским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» – филиал ЦГМС (<http://www.cgms.ru>).

Ежедневный анализ синоптической ситуации, определяющий погодные условия на исследуемой территории за период наблюдений 2005 по 2024 гг., осуществлялся на основании материалов, представленных на сайте Гидрометцентра России (<https://meteoinfo.ru/mapsynop>), проводился.

Для оценки индекса плавучести LI использовались данные температурно-ветрового зондирования атмосферы ст. Воронеж (34122), передаваемые за аналогичный период, в коде КН – 04 (FN-35) и размещенные на сайте Гидрометцентра России (<http://meteocenter.net/raob.htm>).

Стандартная модель по Паскуиллу (Pasquill, F.) представляет собой модель гауссова шлейфа и рассматривает непрерывный источник выброса на эффективной высоте над землей [9].

Для описания устойчивости атмосферы используется 6 классов устойчивости: А, В, С, D, Е и F (по Паскуиллу (Pasquill, F.)). Первые три класса соответствуют неустойчивой стратификации атмосферы, последние два – устойчивой. Класс D соответствует нейтральной стратификации атмосферы.

Нестабильные состояния обозначаются буквой «А» (или цифрой 1), тогда как все более стабильные состояния обозначаются последовательными буквами алфавита, так что чрезвычайно стабильные состояния обозначаются буквами «F» и/или «G» (6) и/или 7). Нейтральные атмосферные условия обозначаются классификацией «D» (4). Предполагается, что в течение времени распространения облака, характеристики атмосферы не меняются.

Важно отметить, что классы устойчивости Паскуилла (Pasquill) представляют собой качественный способ описания стабильности атмосферы – тенденции атмосферы сопротивляться или усиливать вертикальное движение.

Тернер (Turner, D.B. 1967) [11] разработал схему определения класса устойчивости атмосферы с использованием данных радиационного воздействия и влияния скорости ветра.

Расчеты приходящей радиации требуют знания общего облачного покрова, их яруса (вертикальное расположение) и высоты Солнца над горизонтом, которая сама по себе является функцией времени дня и года, а также географического положения [12].

В зависимости высоты Солнца над горизонтом Тернер (Turner) выделяет 4 класса инсоляции, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Номер класса изоляции (IN) как функция высоты Солнца,  $\theta$  [10]

| Solar altitude / Высота Солнца ( $\theta$ ) | Insolation / инсоляция | IN / Номер класса инсоляции |
|---|------------------------|-----------------------------|
| $60 \leq \theta$                            | Strong / сильная       | 4                           |
| $35 \leq \theta < 60$                       | Moderate / умеренная   | 3                           |
| $15 \leq \theta < 35$                       | Slight / слабая        | 2                           |
| $\theta \leq 15$                            | Weak / очень слабая    | 1                           |

Исходя из анализа табл. 1, а также географической широты центральной части Русской равнины простирающейся в пределах  $50...55^\circ$ с.ш. можно сделать заключение, что рассматриваемая территория относится к «умеренному» классу инсоляции (номер инсоляции IN=3).

Для уточнения класса устойчивости атмосферы по Паскуилу (Pasquill, F.) с учетом облачности проведен анализ типов погоды по городам расположенным на территории центральной части Русской равнины. Анализ проводился для холодного и теплого периодов по центральным месяцам сезона (зима – январь, лето - июль).

Вероятность преобладания различных типов погоды зимой и летом на территории города Воронежа представлена на рис. 1.

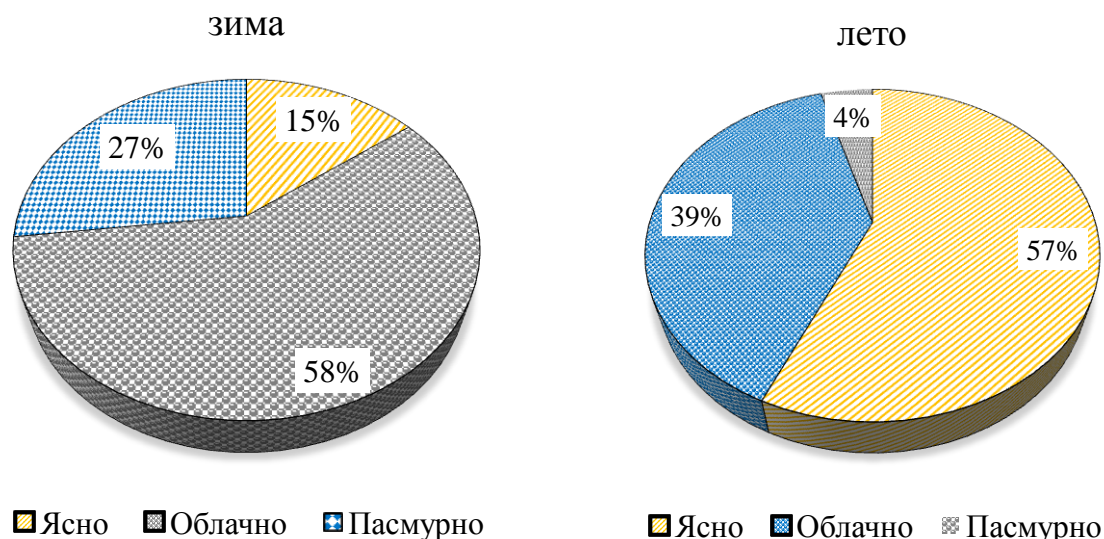


Рис. 1. Типы погоды в Воронеже (1973 – 2023 гг.)

Из рис. 1 видно, что зимой с вероятностью 85 % преобладает пасмурная погода, вероятность солнечных дней составляет 15 %. Летом погода в большей степени была ясной (57 %), небо покрывалось облаками в 43 % случаев.

В табл. 2 перечислены критерии шести классов устойчивости Паскуила, которые основаны на пяти классах скорости приземного ветра, трех классах дневной приходящей солнечной радиации основанной на присвоенном классе инсоляции и двух классах ночной облачности в зависимости от состояния небосвода (<3/8 – малооблачно; >4/8 – переменная облачность и пасмурно).

Таблица 2

Метеорологические условия, определяющие классы устойчивости по Паскуилу (Pasquill F.)

| Скорость приземного ветра, м/с | Дневная приходящая солнечная радиация |           |        | Класс ночной облачности |      |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----------|--------|-------------------------|------|
|                                | Сильная                               | Умеренная | Слабая | >4/8                    | <3/8 |
| <2                             | A                                     | A-B       | B      | E                       | F    |
| 2...3                          | A-B                                   | B         | C      | E                       | F    |
| 3...5                          | B                                     | B-C       | C      | D                       | E    |
| 5...6                          | C                                     | C-D       | D      | D                       | D    |
| >6                             | C                                     | D         | D      | D                       | D    |

На рис. 2 представлено пространственное распределение повторяемости слабых ветров (<2 м/с) за год (%) на территории центральной части Русской равнины.

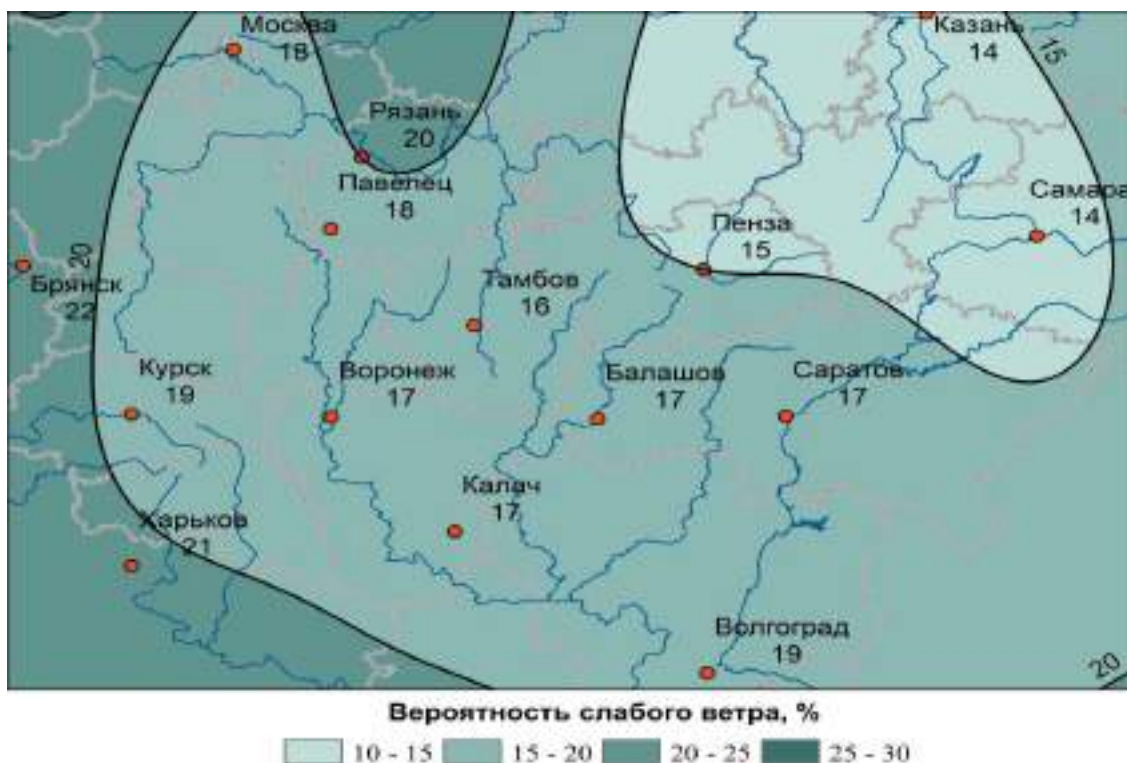


Рис. 2. Повторяемость слабых ветров (<2 м/с) за год (1973...2023 гг.)

Анализ рис. 2 позволил установить увеличение повторяемости слабых ветров на территории центральной части Русской равнины с северо-востока (Казань – 14 %, Самара – 14 %, Пенза – 15 %) на юго-запад (Харьков – 21 %, Брянск – 22%), что объясняется влиянием циркуляции атмосферы.

На рис. 3 представлены значения средней скорости ветра на различной высоте над земной поверхностью.

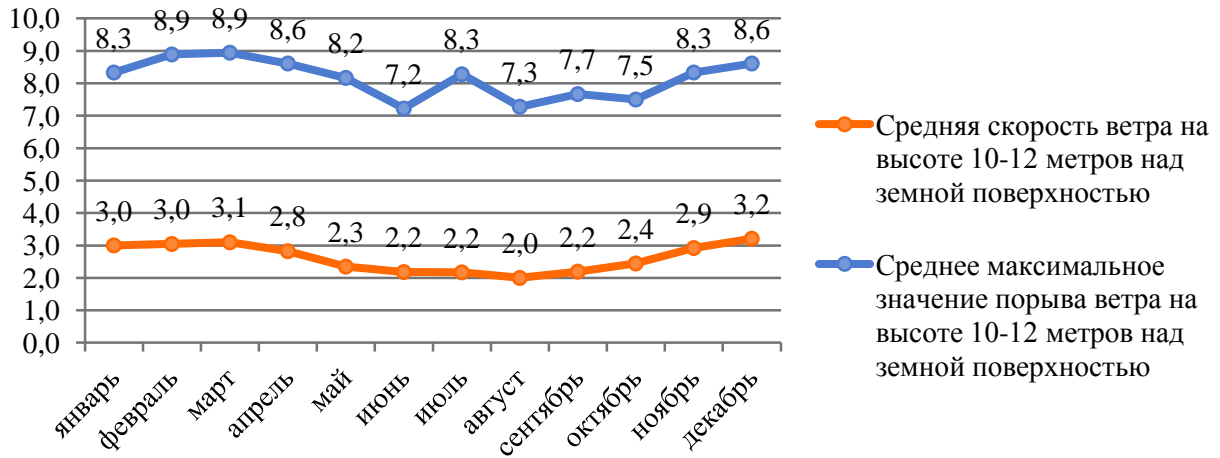


Рис. 3. Средние приземные скорости ветра и порывы на ст. Воронеж (1973...2023 гг.)

По данным рис. 3 видно, что наибольшая средняя месячная скорость ветра в городе Воронеже наблюдается в декабре (3,2 м/с), а наименьшая средняя скорость ветра наблюдается в августе и составляет 2,0 м/с.

В целом можно отметить, что обычно летом скорость ветра понижается, осенью увеличивается и в холодный период достигает максимума. Если рассматривать средние максимальные значения порыва ветра на высоте 10...12 метров над земной поверхностью, то можно сделать вывод о том, что максимальная скорость достигается в феврале и марте и составляет 8,9 м/с.

На рис. 4 представлено пространственное распределение индекса плавучести LI (Lifted Index, LI) при значениях LI ≤ -3 характеризующих вероятность неустойчивого состояния атмосферы Центрального Черноземья.

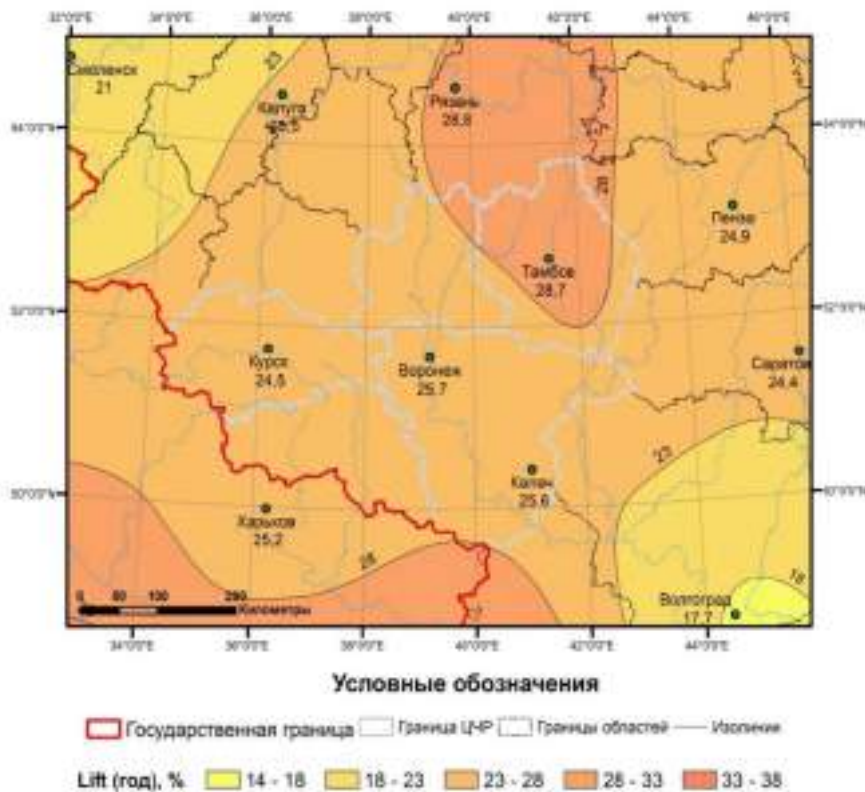


Рис. 4. Пространственное распределение вероятности неустойчивой погоды летом на территории Центрального Черноземья

По данным рис. 4 можно констатировать, что вероятность неустойчивой атмосферы в Смоленске составляет 21.0 %, а в Волгограде 17.7 %. В центральных районах (Воронеж, Курск, Калач) вероятность неустойчивой погоды в пределах 24...26 %. С севера на юг (Рязань – Тамбов – Ростов-на-Дону), расположена территория с большей неустойчивостью атмосферы, в пределах 30 % (Рязань 28,8 %, Тамбов 28,7 %).

Исходя из результатов анализа рис.1, 2, 3, с учетом класса инсоляции (номер инсоляции IN=3 «умеренный»), можно сделать вывод, что по ветровому режиму, на территории центральной части Русской равнины летом преобладают классы В-С, а зимой С-Д.

### **Заключение.**

В результате комплексного анализа метеорологических параметров установлено, что зимой на территории центральной части Русской равнины преобладают условия погоды соответствующие классу устойчивости D по Паскуилу (Pasquill), а летом преобладают условия В-С.

Полученные выводы подтверждают ранее полученные результаты об устойчивости атмосферы, которых подтверждают необходимость замены используемого в ОНД-86 на исследуемой территории класса «А» по Паскуилу на классы «С» – летом и «D» – зимой.

---

*Исследование выполнено  
за счет гранта Российского научного фонда  
№ 20-17-00172, <https://rscf.ru/project/20-17-00172/>*

---

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Акимов, Л. М.** Оценка роли метеорологических условий в формировании аэротехногенного загрязнения городской среды. / Л. М. Акимов, Е. Л. Акимов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2023. – № 2. – С. 68-79.
2. **Акимов, Л. М.** Математическое описание и расчет влияния погодных условий на концентрацию поллютантов и канцерогенных веществ в атмосфере / Л. М. Акимов, Е. Л. Акимов, А. А. Парт // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2022 – № 4. – С. 19-37.
3. **Безуглая, Э. Ю.** Возможность оценки высоких концентраций формальдегида при изменении температуры воздуха / Э. Ю. Безуглая, М. С. Загайнова, Т. П. Ивлева // Труды ГГО им. А.И. Воейкова. – 2012. – № 565. – С. 89-102.
4. **Безуглая, Э. Ю.** Исследование химических процессов в атмосфере по данным мониторинга в городах / Э. Ю. Безуглая, И. А. Воробьева, М. В. Полуэктова // Труды ГГО им. А. И. Воейкова. – 2010. – Вып. 561. – С. 164-184.
5. **Назаренко, А. В.** Исследование уровня загрязнения воздуха г. Воронежа при использовании аэросиноптического материала / А. В. Назаренко, С. А. Дьяков // Высокие технологии в экологии: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2003. – С. 41-45.
6. **Galway, J. G.** The lifted index as a predictor of latent instability / J. G. Galway // Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS). – 1956. – Vol. 37. – Pp. 528-529.
7. **Showalter, A. K.** A stability index for forecasting thunderstorms / A. K. Showalter // Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS). – 1947. – No. 34. – Pp. 250-252.
8. **Miller, R. C.** Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central / R. C. Miller // Tech. Rept. 200 (R). Headquarters, Air Weather Service. – USAF. – 1972. –190 p.

9. **Pasquill, F.** The estimation of the dispersion of windborne material / F. Pasquill // Meteorol. Magazine. – 1961. – No. 90. – Pp. 33-49.
10. **Pasquill, F.** Atmospheric Diffusion / F. Pasquill. – New York: John Wiley & Sons– 1974. – 442p.
11. **Turner, D. B.** Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates / D. B. Turner // Public Health Service Publication 999-AP-26, Robert A Taft Sanitary Engineering Center, Cincinnati, OH. – 1967.
12. **Акимов, Л. М.** Пространственно-временные закономерности формирования аэротехногенного загрязнения атмосферы в условиях вертикальной «неустойчивости» в Центральном Черноземье / Л. М. Акимов, Е. Л. Акимов // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2023. – Т. 17. – № 2. – С. 11-22.

Поступила в редакцию 17 ноября 2024

## ANALYSIS OF THE ATMOSPHERE STABILITY OF THE TERRITORY IN THE CENTRAL PART OF THE RUSSIAN PLAIN ACCORDING TO THE PASQUILL PARAMETER

**L. M. Akimov, E. L. Akimov**

---

Leonid Musaminovich Akimov, Cand. Sc. (Geography), Associate Professor, Head of the Department of Nature Management, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russia, tel.: +7(951)850-49-82, +7(473)266-56-54; e-mail: akl63@bk.ru

Evgeniy Leonidovich Akimov, Cand. Sc. (Geography), Associate Professor of the Department of Environmental Management, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)266-56-54; e-mail: akimovvsu@gmail.com

---

The article presents the results of studying the spatial and temporal features of the distribution of the Pasquill stability class (F. Pasquill) in the central part of the Russian Plain. The materials and methods of the study are based on the analysis of daily ground-based observation data from stationary meteorological stations located in the study area for the period (1973...2023), as well as data from aerological stations. The study resulted in the establishment of spatial and temporal patterns of distribution of Pasquill stability classes in different seasons of the year. It was found that according to the wind regime, in the central part of the Russian Plain, Pasquill B-C stability classes prevail in summer, and C-D classes do prevail in winter.

**Keywords:** atmospheric stability; buoyancy indices; Pasquill parameter; meteorological parameters; synoptic situation; weather type.

### REFERENCES

1. **Akimov L. M., Akimov E. L.** *Assessment of the role of meteorological conditions in the formation of aerotechnogenic pollution of the urban environment.* Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology. 2023. No. 2. Pp. 68-79. (in Russian)
2. **Akimov L. M., Akimov E. L., Part A. A.** *Mathematical description and calculation of the influence of weather conditions on the concentration of pollutants and carcinogenic substances in the atmosphere.* Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology. 2022. No. 4. Pp. 19-37. (in Russian)
3. **Bezuglaya E. Y., Zagainova M. S., Ivleva T. P.** *The possibility of estimating high concentrations of formaldehyde with changes in air temperature.* Proceedings of the State State Educational Institution named after A. I. Voeikov. 2012. No. 565. Pp. 89-102. (in Russian)



4. **Bezuglaya E. Y., Vorobyova I. A., Poluektova M. V.** *Investigation of chemical processes in the atmosphere according to monitoring data in cities.* The works of the State State Educational Institution named after A. I. Voeikov. 2010. Issue 561. Pp. 164-184. (in Russian)
5. **Nazarenko A. V., Dyakov S. A.** *Investigation of the level of air pollution in Voronezh using aerosynoptic material.* High technologies in ecology: collection of materials of the VI International Scientific and Practical Conference. Voronezh. 2003. Pp. 41-45. (in Russian)
6. **Galway J. G.** *The lifted index as a predictor of latent instability.* Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS). 1956. No. 37. Pp. 528-529.
7. **Showalter A. K.** *A stability index for forecasting thunderstorms.* Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS). 1947. No. 34. Pp. 250-252.
8. **Miller R. C.** *Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central.* Tech. Rept. 200 (R). Headquarters, Air Weather Service. USAF. 1972. 190 p.
9. **Pasquill F.** *The estimation of the dispersion of windborne material.* Meteorol. Magazine. 1961. No. 90. Pp. 33-49.
10. **Pasquill F.** *Atmospheric Diffusion.* New York. John Wiley & Sons. 1974. 442 p.
11. **Turner D. B.** *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates.* Public Health Service Publication 999-AP-26. Robert A Taft Sanitary Engineering Center. Cincinnati. OH. 1967.
12. **Akimov L. M., Akimov E. L.** *Spatial and temporal patterns of formation of aerotechnogenic atmospheric pollution in conditions of vertical "instability" in the Central Chernozem region.* Izvestiya. Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences. 2023. Vol. 17. No. 2. Pp. 11-22. (in Russian)

*Received 17 November 2024*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Акимов, Л. М.** Исследование устойчивости атмосферы территории Центральной части Русской равнины по параметру Паскуилла / Л. М. Акимов, Е. Л. Акимов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 105-112. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.012.

**FOR CITATION:**

**Akimov L. M., Akimov E. L.** *Analysis of the atmosphere stability of the territory in the Central part of the Russian plain according to the Pasquill parameter.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 105-112. DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.012. ( in Russian)

## ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ WRITING RULES AND GUIDELINE

Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства. Периодичность издания – 4 раза в год.

Издание включено в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук с 22.12.2020 г.

Статьи в журнале публикуются бесплатно.

Осуществляется подписка на журнал «Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура». Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» **81025**. Физические лица могут оформить подписку на сайте <https://www.pressa-rf.ru/>

Отдельные экземпляры журнала можно приобрести в редакции по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ВГТУ, кафедра жилищно-коммунального хозяйства, каб. 1321.

О наличии необходимого номера можно узнать по телефону +7(473)271-28-92 или по e-mail: [vstu.gkh@gmail.com](mailto:vstu.gkh@gmail.com).

Рукопись представляется в редакцию *на русском языке*. В том случае, если зарубежные авторы присылают статьи *на английском языке*, необходимо предоставить *точный перевод на русский язык*.

К публикации принимаются материалы статьи, в которых приводятся результаты собственных научных (теоретических и/или экспериментальных) исследований авторов (кроме обзорных статей), соответствующие по своей тематике профилю и тематическим направлениям журнала.

Материалы статьи принимаются в электронном виде на адрес редакции [vstu.gkh@gmail.com](mailto:vstu.gkh@gmail.com). Автор присылает:

- ✓ файл текста статьи;
- ✓ отсканированная последняя страница с датой отправки статьи и подписями всех авторов (рядом с подписью указывается фамилия и инициалы автора);
- ✓ экспертное заключение о возможности открытого опубликования, заверенное печатью и подписью ответственного лица.

После принятия статьи к публикации автор высылает оригинал рукописи в редакцию журнала по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ком. 1321, Воронежский государственный технический университет, кафедра жилищно-коммунального хозяйства.

Об отказе в публикации статьи по формальным признакам авторы информируются редакцией по электронной почте с изложением причины отказа.

### ***Требования к оформлению статьи***

Рукопись должна готовиться в редакторе Microsoft Word для Windows (версии от XP до Word 97/10). Текст набирают шрифтом Times New Roman размером 12 пт с межстрочным интервалом 1, абзацный отступ 1 см. Размер листа А4; поля: левое – 3 см, правое – 1,5 см, верхнее – 2 см, нижнее – 2,5 см. Нумерация страниц не требуется. Объём рукописи – от 5 до 10 страниц, включая иллюстрации, таблицы, библиографический список и сведения об авторах.

Структура статьи:

#### русскоязычная часть:

- ✓ **индекс УДК** – в левом верхнем углу, прописными буквами (шрифт 12 пт, обычный);
- ✓ **название статьи** – прописными буквами с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **инициалы, фамилии авторов**, с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **сведения об авторах**: последовательно для каждого – фамилия, имя, отчество, ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почётные звания не указывать), должность, наименование учреждения, в котором работает автор, город, страна, контактный телефон; e-mail автора, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);
- ✓ **аннотация** объёмом от 200 до 250 слов, выравнивание по ширине, отступ слева и справа 1 см (шрифт 11 пт, обычный);

✓ **ключевые слова** от 5 до 12 слов, указывающие на принципиально важные объекты и особенности исследования, отделяются друг от друга точкой с запятой, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **текст статьи** (в тексте статьи должны быть отражены: актуальность проблемы, оценка степени ее разработанности, цели, задачи и методы решения научной задачи, полученные результаты). В конце статьи обязательно приводится **заключение**.

При оформлении текста статьи следует придерживаться следующих требований:

✓ русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) в тексте, формулах, подписях к рисункам и в таблицах набираются прямым шрифтом; латинские буквы – курсивом;

✓ в статье должен быть необходимый минимум формул, которые:

❖ следует набирать шрифтом Times New Roman в редакторе формул MS Equation или MathType;

❖ начинать с красной строки;

❖ располагать по центру и нумеровать арабскими цифрами в скобках у правого края страницы;

❖ ссылки на формулы в тексте – арабскими цифрами в скобках;

✓ рисунки и таблицы должны быть пронумерованы и добавлены в текст после первого упоминания;

✓ до и после рисунка и таблицы необходимо сделать пробел (шрифт 12 пт);

✓ иллюстрации представляются в редакцию

❖ в виде отдельных файлов (рисунков и фотографий), записанных с расширением .TIFF или .JPEG; линии чертежа – не тоньше 1 пт; иллюстрации, в том числе фотографии, должны иметь хорошую проработку деталей;

❖ подписи к рисункам нумеруются и располагаются под ними, выравнивание текста по центру (шрифт 10 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ таблицы оформляются следующим образом:

❖ шрифт выбирается автором самостоятельно с учетом возможности качественного чтения текста;

❖ наименования в таблицах даются полностью, без сокращения слов;

❖ номер таблицы располагается отдельно, выравнивание текста по правому краю (шрифт 10 пт, обычный);

❖ название таблицы размещается над таблицей, выравнивание текста по центру (шрифт 11 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**, составляемый по следующим правилам;

❖ список используемой литературы должен включать не менее 10 источников;

❖ шрифт 12 пт, выравнивание текста по ширине, абзацный отступ 1 см;

❖ в список включаются *только опубликованные работы*, в порядке упоминания в статье; ссылки на них в тексте статьи даются арабскими цифрами в квадратных скобках;

❖ в списке не должно быть нормативных документов (ГОСТ, СП, технических регламентов, правовых актов и т.п. неавторизованных источников) – ссылки на них даются в тексте статьи в развернутом виде или в форме подстраничных сносок;

❖ библиографические описания оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003; включенные в текст статьи или подстраничные библиографические ссылки следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008;

❖ ссылки на интернет-сайты не допускаются; для статей из зарегистрированных *электронных журналов* указываются фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, выходные данные выпуска, адрес сайта журнала и дата обращения к электронному ресурсу;

**англоязычная часть:**

✓ **название статьи**;

✓ **инициалы, фамилии авторов**, выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);

✓ **сведения об авторах** – последовательно для каждого: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученые звания, должность, название организации (учреждения), города, страны, контактный телефон; e-mail автора; выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **аннотация**: перевод, идентичный русскому варианту;

✓ **ключевые слова** (Keywords);

✓ **библиографический список** (REFERENCES).



ISSN 2541-9110



24 >

9 772541 911046