

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

# ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 1 (28), 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**

**№ 1(28), 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 «Каталоге периодических изданий. Газеты и журналы» ГК «Урал Пресс» - 81025.  
Физические лица могут оформить подписку в интернет-магазине «Деловая пресса»  
<http://www.ural-press.ru/dlya-fizicheskikh-lits/>

**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 uploaded 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 «Catalog of periodicals. Newspapers and magazines»  
of the «Ural Press» Group of Companies - 81025.  
Individuals can subscribe to it in the online store «Business Press»  
<http://www.ural-press.ru/dlya-fizicheskikh-lits/>

**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)

**Леденев 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://vk.com/public.shilovo.vrn36>

*Редактор перевода:* Козлова В.В.

Подписной индекс в «Каталоге периодических изданий. Газеты и журналы» ГК «Урал Пресс» – 81025  
Дата выхода в свет 29.03.2024. Усл. печ. л. 14,8. Формат 60×84/8. Тираж 45 экз. Заказ № 44  
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.

**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://vk.com/public.shilovo.vrn36>

*Translation editor:* V. V. Kozlova

Subscription index in the «Catalog of periodicals. Newspapers and magazines» of the «Ural Press» Group of Companies – 81025

Date of publication 29.03.2024. Conventional printed sheets 14,8. Format 60×84/8. Circulation 45 copies. Order 44

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., Сазонов Э. В., Ишков А. Н.*

Расчетное обоснование температурных деформаций каменных стен здания.....9

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ***Усиков С. М., Желдаков Д. Ю.*Учет взаимного влияния местных сопротивлений  
в типовых узлах подключения отопительного прибора.....19*Мерциев А. А., Лобанов Д. В., Бурак Е. Э.*Совершенствование способа предотвращения попадания в рабочую зону холодного  
ниспадающего воздушного потока в зданиях с высоким коэффициентом остекления.....30*Лобанов Д. В., Звенигородский И. И., Сафонов С. А.*Изменение параметров воздушной среды в помещении умственного труда  
при работе различных схем систем вентиляции.....37*Китаев Д. Н., Гасанов З. С., Иевлев А. Н.*

Моделирование работы котла на нерасчетном топливе.....49

*Лассана Д., Саинова В. Н.*Исследование эффективной технологии очистки сточных вод после золениа  
в двухступенчатом азротенке на примере кожевенной промышленности  
Мали (ИМАТ) в Бамако (Мали).....58**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ,  
РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО***Миронова И. А., Текина В. И.*Подземная урбанистика как аспект формирования архитектурно-градостроительного  
пространства в исторических мегаполисах и крупнейших городах.....66*Витюк Е. Ю., Обухова А. Ю.*Альтернативный газон как средство повышения эффективности  
благоустройства городских пространств.....78*Карпушко Е. Н., Карпушко М. О.*Благоустройство придомовой территории в системе градостроительных  
и земельно-имущественных отношений.....88*Артыщенко С. В., Панфилов Д. В., Чигарев А. Г., Бондарь С. П.*Фрактальные структуры как важный аспект повышения инновационного  
потенциала территории.....99**ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ***Середа Т. Г., Костарев С. Н.*Анализ фракционного и морфологического состава твердых  
коммунальных отходов на примере Пермского края.....109*Соколов Д. А., Головина Е. И.*Визуальное представление воздействия виброакустического фактора  
от железнодорожного транспорта на селитебную зону.....118**ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....126**

## CONTENTS

### BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

*Shmelev G. D., Sazonov E. V., Ishkov A. N.*

Calculation justification of temperature deformations of stone walls in a building.....9

### ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES

*Usikov S. M., Zheldakov D. Yu.*

Accounting for the mutual influence of local resistance in typical heating appliance connection units.....19

*Mershchiev A. A., Lobanov D. V., Burak E. E.*

Improvement of prevention method of cold falling air flow in the working area in buildings with high glazing coefficient.....30

*Lobanov D. V., Zvenigorodsky I. I., Safonov S. A.*

Changes in the air parameters in the mental work room during the operation of various ventilation systems schemes.....37

*Kitaev D. N., Gasanov Z. S., Ievlev A. N.*

Simulation of boiler operation with off-design fuel.....49

*Lassana D., Sainova V. N.*

Analasys of the technology of effective wastewater treatment after ashing in a two-stage aeration tank, on the example of the leather industry in Mali (IMAT), in Bamako (Mali).....58

### URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

*Mironova I. A., Tyokina V. I.*

Underground urbanism as an aspect of the formation of architectural and urban planning space in historical megacities and major cities.....66

*Vityuk E. YU., Obukhova A. YU.*

Alternative lawn as a means of increasing the efficiency of landscaping urban spaces.....78

*Karpushko E. N., Karpushko M. O.*

Improvement of the grounds in the context of town planning as well as in the system of land and property relations.....88

*Artyshchenko S. V., Panfilov D. V., Tchigarev A. G., Bondar S. P.*

Fractal structures as an important aspect of increasing the innovative potential of a territory....99

### ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

*Sereda T. G., Kostarev S. N.*

Analysis of fractional and morphological composition of solid municipal waste on the example of Perm krai.....109

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

Visual presentation of the impact of the vibroacoustic factor from railway transport on the residential area.....118

**WRITING RULES AND GUIDELINES.....126**

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

DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.001

УДК 692.232.4

### **РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ КАМЕННЫХ СТЕН ЗДАНИЯ**

**Г. Д. Шмелев, Э. В. Сазонов, А. Н. Ишков**

Шмелев Геннадий Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(4732)271-52-49; e-mail: shmelev8@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)271-53-21; e-mail: edsazonov36@yandex.ru

Ишков Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: ishkov1.78@mail.ru

На примере длительно эксплуатируемого жилого дома в климатических условиях г. Воронежа рассмотрены причины неравномерного образования трещин по фасадам температурного происхождения и развития. При проведении выборочного обследования здания, выполненного сотрудниками Воронежского государственного технического университета в 2023 году, исследованы и проанализированы наиболее вероятные причины трещинообразования в наружных каменных стенах здания; оценена фактическая категория технического состояния стен и фундаментов здания; выполнены теплотехнические расчеты наружных каменных стен; проведены поверочные расчеты температурных деформаций наружных каменных стен здания. При выполнении расчетов наружных каменных стен здания были учтены следующие факторы: неравномерное расположение трещин в стенах здания; наличие трех температурных блоков в здании, разделенных двумя температурно-усадочными деформационными швами; пространственная ориентация здания и ориентация фасадов здания по сторонам света; наличие или отсутствие затененности наружных стен здания деревьями; фактические прочностные и деформационные характеристики материалов наружных каменных стен здания; наличие и отсутствие на стенах по разным фасадам здания штукатурного покрытия и цвет фасадов здания. Расчет температурных деформаций здания выполнен с учетом требований СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», СП 131.13330.2020 «Строительная климатология. СНиП 23.01.99\*» и СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81\*». Выполненными расчетами подтверждена фактическая неравномерность распределения трещин по фасадам здания и в пределах температурных блоков, а также температурный характер образования трещин в наружных стенах здания.

**Ключевые слова:** каменные стены; жилые здания; температурные деформации; ориентация стен по сторонам света; температурные трещины; расчетное обоснование.

Длительная эксплуатация зданий и сооружений, построенных со стенами в виде сплошной каменной кладки, показывает, что со временем в наружных стенах здания появляются и развиваются трещины различных направлений. При проведении технических обследований различными специалистами определяется характер трещин, по причинам их образования: осадочные, силовые и температурно-усадочные. Большая часть специалистов, включая судебных экспертов, неправильно определяет характер причин образования

и развития трещин, считая их силовыми или осадочными, в то время как основная масса трещин в наружных стенах зданий связана с неравномерными температурно-усадочными деформациями кладки и ее элементов, включая железобетонные перемычки.

Вопросам исследования температурной деформации каменных и бетонных конструкций уделяется мало внимания. Расчетам температурных деформаций наружных стен каменных зданий при проектировании ранее, да и в настоящее время уделяется незначительное внимание. При этом следует отметить работы [1...3], посвященные особенностям проектирования каменных конструкций и мониторинга их технического состояния в процессе длительной эксплуатации. В работах [4...7] исследованы вопросы, касающиеся необходимости учета напряженно-деформированного состояния каменной кладки, развития трещин и учета этих параметров при проектировании усиления каменной кладки. В работах [8...10] авторами сделаны попытки исследовать вопросы теплоэффективности наружных ограждающих конструкций каменных стен с трещинами, выполнена предварительная оценка влияния трещин различной ширины раскрытия на теплотехнические характеристики ограждающих конструкций. И только в одной работе [11] сделана попытка расчета и учета температурных деформаций поврежденных каменных стен зданий.

Авторами настоящей работы, на примере конкретного объекта – жилого дома по адресу: г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 101, предпринята попытка расчетного обоснования температурного характера образования и развития трещин в наружных каменных стенах здания. На рисунке приведен общий вид здания со стороны улицы.



Общий вид исследуемого жилого дома № 101 по ул. 20-летия Октября в г. Воронеже

Наружные стены здания выполнены в виде каменной кладки из силикатного кирпича на сложном цементно-песчаном растворе. Толщина стен – 510 мм. Главный фасад здания по ул. 20-летия Октября и оба торцевых фасада здания снаружи оштукатурены и окрашены. Все стены со стороны внутренних помещений оштукатурены известково-цементным раствором.

Наружные стены здания двумя температурно-усадочными швами разделены на три температурных блока. Дины температурных блоков соответственно составляют 31,6; 20,2 и 31,6 м. Два более длинных температурных блока расположены слева и справа, в торцах здания. Более короткий температурный блок расположен в середине здания. Температурно-усадочные швы в наружных стенах не закрыты от прямого попадания осадков в виде дождя и снега. В плане температурно-усадочные швы расположены по стенам лестничных клеток в местах примыкающих помещений квартир, в подъездах № 2 и № 3, так, что оба подъезда попадают в средний температурный блок.

По всем фасадам здания имеются оконные и/или дверные проемы, над которыми установлены железобетонные перемычки. В оконных проемах первоначально установлены деревянные окна. Большая часть окон в процессе эксплуатации владельцами квартир была заменена на современные пластиковые окна со стеклопакетами.

По данным ранее выполненного обследования ООО «СМ-проект» за 2015 год материалы наружных стен здания имеют следующие прочностные характеристики (получено в ходе неразрушающего контроля):

- ✓ кирпич: марка по прочности на сжатие М125;
- ✓ цементно-песчаный раствор: марку по прочности на сжатие М75.

В соответствии с предоставленной рабочей документацией на капитальный ремонт здания, разработанной в 2022 году, предусмотрено инъектирование основных трещин по всем фасадам здания. В процессе ремонта, проведенного в 2022 году, основная часть трещин в наружных стенах, имеющая большую ширину раскрытия, была заделана безусадочной мастикой «MasterEmako S488» в соответствии с представленной на изучение рабочей документацией. Метод заделки – инъектирование.

Кроме того при подготовке и проведении ремонтных работ в 2022 году было предусмотрено и выполнено усиление двух простенков по дворовому фасаду здания. Усиление выполнено в соответствии с представленной рабочей документацией.

В ходе проведенного обследования наружных каменных стен здания выявлены следующие характерные дефекты и повреждения:

- ✓ вертикальные трещины по границам оконных проемов и под оконными проемами (расположенные преимущественно на южной части здания), значительная часть которых заинъектирована мастикой;
- ✓ участки отслаивания и обрушения штукатурного слоя стен (преимущественно по главному фасаду).

В южной части здания по 4-му подъезду в уровне между 2 и 3 этажами, а также между 3 и 4 этажами, выполнено усиление простенков, на участках под опорами перемычек над оконными проемами лестничных клеток. На две трещины, слева и справа от подъезда № 4 в уровне 5-го этажа установлены стальные скобы, защищенные обмазкой полимерцементным раствором.

Картина трещинообразования наружных стен здания свидетельствует о температурном характере образования и развития трещин.

Выполненные поверочные расчеты каменной кладки стен в местах опорных частей железобетонных балок перекрытия над проемом показали, что работоспособность каменной кладки без трещин обеспечена с некоторым запасом. Введение в расчет трещины по границе опорной зоны балок показывает наличие перегруза каменной кладки опорных зон под балками на смятие на 9,8 %.

Толщина и конструкция наружных стен здания не обеспечивает требуемую тепловую защиту внутренних помещений. Наличие сквозных трещин в наружных стенах здания дополнительно снижает эти показатели. Выполненные поверочные расчеты теплотехнических показателей наружных стен здания показывают, что сопротивление теплопередачи наружных каменных стен составляет 0,77...0,79 ( $\text{м}^2 \times \text{°C}$ )/Вт. Требуемое сопротивление теплопередаче для стен жилых помещений составляет:

- ✓ по санитарно-гигиеническим требованиям 1,26 ( $\text{м}^2 \times \text{°C}$ )/Вт;
- ✓ нормируемое значение поэлементных требований 1,82 ( $\text{м}^2 \times \text{°C}$ )/Вт;
- ✓ базовое значение поэлементных требований 2,89 ( $\text{м}^2 \times \text{°C}$ )/Вт.

Требуется утепление наружных стен здания.

Физический износ наружных стен здания на основании признаков износа, приведенных в таблице 10 ВСН 53-86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий», оценивается на уровне до 20 %.

Категория фактического технического состояния наружных стен здания по результатам проведенного обследования в целом для здания оценивается как ограниченно работоспособная.

Для подтверждения предварительных выводов о температурном характере трещинообразования наружных каменных стен здания были проведены расчеты температурных

трещин по всем температурным блокам здания, выполненные с учетом:

- ✓ прочностных и деформационных характеристик материалов каменных стен здания;
- ✓ ориентации фасадов здания по сторонам света;
- ✓ разницы температурного нагрева наружных каменных стен, в том числе и с учетом нагрева прямыми солнечными лучами;
- ✓ неравномерности солнечного нагрева разных участков стен, имеющих затенение ветвями и листьями деревьев, расположенных неравномерно вдоль фасадов здания.

Исходные данные для расчета, результаты расчета температур нагрева наружных каменных стен, а также расчета температурных деформаций каменных стен, в том числе с учетом фактической освещенности стен приведены в табл. 1...3.

Таблица 1

Исходные данные для расчета

Наименование показателя	Значение
Ширина здания по наружному обмеру без учета штукатурных слоев	12,51 м
Длина левого температурного блока	31,61 м
Длина среднего температурного блока	20,20 м
Длина правого температурного блока	31,61 м
Марка кирпича стен по прочности на сжатие	M125
Марка раствора стен по прочности на сжатие	M75
Расчетное сопротивление кладки на растяжение по перевязанному сечению $R_t$	0,13 МПа
Коэффициент, характеризующий вид кладки $k$	2,25
Временное сопротивление (средний предел прочности) кладки $R_u = k \times R_t$	0,29 МПа
Упругая характеристика кладки	1000
Модуль упругости (начальный модуль деформации) кладки $E_0 = \alpha \times R_u$	2850 МПа
Коэффициент, учитывающий влияние ползучести кладки (для кладки из силикатного кирпича) $\eta$	3,0
Модуль деформации кладки $E = E_0 / \eta$	950 МПа
Коэффициент линейного расширения кладки из силикатного кирпича	0,00001 град. <sup>-1</sup>
Географическая широта местности г. Воронеж	51°40'
Нормативная минимальная температура воздуха $t_{\min}$	-33 °С
Нормативная максимальная температура воздуха $t_{\max}$	+35 °С
Среднесуточная амплитуда температуры января $A_I$	6,6 °С
Среднесуточная амплитуда температуры июля $A_{VII}$	11,7 °С
Многолетняя средняя температура января $t_I$	-12 °С
Многолетняя средняя температура июля $t_{VII}$	+27 °С
Температура внутреннего воздуха в помещении в теплое время года $t_{iw}$	+25 °С
Температура внутреннего воздуха в помещении в холодное время года $t_{ic}$	+18 °С
Коэффициент $k$ для каменных конструкций толщиной более 40 см	0,3
Коэффициент поглощения солнечной радиации силикатного кирпича $\rho$	0,6
Коэффициент поглощения солнечной радиации штукатурки терракотового цвета $\rho$	0,7
Максимальная суммарная солнечная радиация на вертикальную поверхность $S_{\max}$ :	
✓ южной ориентации	566 Вт×ч/м <sup>2</sup>
✓ восточной и западной ориентации	771 Вт×ч/м <sup>2</sup>
✓ северной ориентации	219 Вт×ч/м <sup>2</sup>
Приращения средних по сечению элемента температур и перепада температур суточных колебаний температуры наружного воздуха:	
✓ $\theta_1$	+2 °С
✓ $\theta_2$	+2 °С
✓ $\theta_3$	+4 °С

Таблица 2

## Расчеты температурных параметров каменных стен

Наименование показателя	Значение
Приращения средних по сечению элемента температур и перепада температур от солнечной радиации	
✓ $\theta_4=0,05 \times \rho \times S_{\max} \times k$	
✓ стен южной ориентации	+5,943 °С
✓ стен восточной ориентации	+8,096 °С
✓ стен западной ориентации	+6,939 °С
✓ стен северной ориентации	+2,299 °С
✓ $\theta_5=0,05 \times \rho \times S_{\max} \times (1-k)$	
✓ стен южной ориентации	+13,867 °С
✓ стен восточной ориентации	+18,889 °С
✓ стен западной ориентации	+16,191 °С
✓ стен северной ориентации	+5,366 °С
Средняя суточная температура наружного воздуха наиболее холодного месяца $t_{ec}=t_{\min}+0,5 \times A_I$	-29,7 °С
Средняя суточная температура наружного воздуха наиболее холодного месяца $t_{ew}=t_{\max}-0,5 \times A_{VII}$	+29,15 °С
Начальная температура в холодное время года $t_{oc}=0,2 \times t_{VII}+0,8 \times t_I$	-4,2 °С
Начальная температура в теплое время года $t_{ow}=0,8 \times t_{VII}+0,2 \times t_I$	+19,2 °С
✓ стен южной ориентации	+37,093 °С
✓ стен восточной ориентации	+39,246 °С
✓ стен западной ориентации	+38,089 °С
✓ стен северной ориентации	+33,449
Нормативное значение средних температур по сечению элемента в холодное время года $t_c=t_{ic}+0,6 \times (t_{ec}-t_{ic})-0,5 \times \theta_2$ (в условиях воздействия прямой солнечной радиации)	-37,72 °С
Перепад температур по сечению элемента в теплое время года $v_w=\theta_5=0,05 \times \rho \times S_{\max} \times (1-k)$ (в условиях воздействия прямой солнечной радиации)	
✓ стен южной ориентации	+13,867 °С
✓ стен восточной ориентации	+18,889 °С
✓ стен западной ориентации	+16,191 °С
Перепад температур по сечению элемента в холодное время года $v_c=0,8 \times (t_{ec}-t_{ic})-0,5 \times \theta_3$ (в условиях воздействия прямой солнечной радиации)	-40,16 °С
Нормативное значение средних температур по сечению элемента в теплое время года $t_w=t_{ew}=t_{\max}-0,5 \times A_{VII}$ (в условиях защищенности от прямой солнечной радиации)	+29,15 °С
Нормативное значение средних температур по сечению элемента в холодное время года $t_c=t_{ic}$ (в условиях защищенности от прямой солнечной радиации)	+18 °С
Перепад температур по сечению элемента в теплое время года $v_w=0$ (в условиях защищенности от прямой солнечной радиации)	0 °С
Перепад температур по сечению элемента в холодное время года $v_c=0$ (в условиях защищенности от прямой солнечной радиации)	0 °С
Нормативные значения изменений средних температур по сечению элемента в теплое время года $\Delta t_w=t_w-t_{oc}$ (в условиях воздействия прямой солнечной радиации):	
✓ стен южной ориентации	+41,293 °С
✓ стен восточной ориентации	+43,446 °С
✓ стен западной ориентации	+42,289 °С
✓ стен северной ориентации	+37,649 °С
Нормативные значения изменений средних температур по сечению элемента в теплое время года $\Delta t_w=t_w-t_{oc}$ (в условиях защищенности от прямой солнечной радиации)	+33,35 °С

Окончание табл. 2

Наименование показателя	Значение
Нормативные значения изменений средних температур по сечению элемента в холодное время года $\Delta t_c = t_c - t_{ow}$	-37,2 °С
Коэффициент надежности по температуре	1,1
Температура теплого периода года с обеспеченностью 0,95	+25 °С
Температура холодного периода года с обеспеченностью 0,94	-12 °С
Годовой температурный перепад на наружной поверхности стены между теплым и холодным периодами года	37 °С
Среднегодовая температура	+6,8 °С
Максимальный перепад температуры между среднегодовым значением и значением для холодного периода года	18,8 °С

Таблица 3

Результаты расчетов температурных деформаций каменных стен

Наименование показателя	Значение
Горизонтальные сжимающие напряжения, возникающие в лицевом слое кладки от температурно-влажностного воздействия $\sigma = (0,67 + 0,0088 \times L) \times E \times \alpha_t \times \Delta t$ в условиях воздействия прямой солнечной радиации	
✓ торцевой стены южной ориентации	0,337 МПа
✓ стены восточной ориентации левого температурного блока	0,391 МПа
✓ стен западной ориентации левого температурного блока	0,419 МПа
✓ стены восточной ориентации левого температурного блока	0,385 МПа
✓ стен западной ориентации левого температурного блока	0,375 МПа
Горизонтальные сжимающие напряжения, возникающие в лицевом слое кладки от температурно-влажностного воздействия $\sigma = (0,67 + 0,0088 \times L) \times E \times \alpha_t \times \Delta t$ в условиях защищенности от прямой солнечной радиации	
✓ стены восточной ориентации правого температурного блока	0,33 МПа
✓ стен западной ориентации правого температурного блока	0,33 МПа
✓ торцевой стены северной ориентации	0,271 МПа
Горизонтальные растягивающие напряжения, возникающие в лицевом слое кладки от температурно-влажностного воздействия $\sigma = (0,67 + 0,0088 \times L) \times E \times \alpha_t \times \Delta t$ в условиях защищенности от прямой солнечной радиации	
✓ торцевых стен здания	0,303 МПа
✓ стен левого и правого температурных блоков	0,329 МПа
✓ стен среднего температурного блока	0,368 МПа
Абсолютное укорочение участка стены температурного блока от среднегодовой температуры, без учета нагрева прямыми солнечными лучами	
✓ торцевых стен здания	2,6 мм
✓ стен среднего температурного блока	4,2 мм
✓ стен левого и правого температурных блоков	6,5 мм
Расчетное удлинение стен температурных блоков до образования трещин (с учетом ползучести каменной кладки), без учета нагрева прямыми солнечными лучами	
✓ торцевых стен здания	1,7 мм
✓ стен среднего температурного блока	2,8 мм
✓ стен левого и правого температурных блоков	4,3 мм
Суммарная расчетная ширина раскрытия трещин в стенах температурных блоков, без учета нагрева прямыми солнечными лучами	
✓ торцевых стен здания	0,9 мм
✓ стен среднего температурного блока	1,4 мм
✓ стен левого и правого температурных блоков	2,2 мм

Выполненные поверочные расчеты температурных деформаций каменных стен здания показали, что, несмотря на два заложённых при проектировании и возведении здания температурно-усадочных деформационных шва, температурные деформации наружных каменных стен трех температурных блоков здания превышают предельные деформации каменной кладки до образования в ней трещин.

Горизонтальные растягивающие напряжения по всем стенам здания, возникающие при отрицательных расчетных температурах на поверхности стены составляют от 0,303 до 0,368 МПа, что превышает расчетное сопротивление кладки на растяжение по перевязанному сечению (0,13 МПа) и временное сопротивление каменной кладки (0,29 МПа).

Прочность сечений каменной кладки на растяжение от температурных воздействий по перевязанному сечению не обеспечена ни по одной стене всех трех температурных блоков здания.

Расчеты абсолютных удлинений каменных стен и расчетных значений допустимых удлинений перед образованием трещин показывают, что трещины по всем температурным блокам здания образуются от чрезмерных температурных деформаций каменной кладки стен здания.

Наличие большего по количеству и по ширине раскрытия трещин в части здания, обращенной в южном направлении, объясняется открытостью этой части здания дополнительному нагреву прямыми солнечными лучами. Растительность в виде деревьев, закрывающих фасады этой части здания (правый температурный блок) со всех сторон отсутствует.

На участках стен, защищенных в летний период листвой деревьев, от воздействия прямой солнечной радиации внутренние напряжения изменяются от 0,27 до 0,33 МПа в зависимости от обращенности фасадов здания по сторонам света.

Результаты выполненных расчетов температурных деформаций каменных стен исследуемого жилого дома подтвердили предварительный вывод о температурном характере образования и развития трещин в наружных каменных стенах здания.

### **Заключение.**

Расчетами установлено, что при отрицательных температурах окружающего воздуха в наружных каменных стенах здания возникают усилия растяжения, изменяющиеся в пределах от 0,3 до 0,37 МПа, в зависимости от пространственной ориентации стен здания. При этом расчетное сопротивление каменной кладки стен, с учетом фактических прочностных характеристик материалов – кирпича и раствора, по перевязанному сечению на растяжение составляет всего 0,13 МПа, что в 2,5...3 раза ниже температурных усилий, возникающих в кладке наружных стен здания при их охлаждении в зимний период времени.

Поверочные расчеты внутренних температурных напряжений в каменной кладке стен от дополнительного нагрева солнечной радиацией, полностью подтверждают, что более нагретые участки каменной кладки наружных стен здания на участках открытых прямым солнечным лучам, имеют большие по значению внутренние сжимающие напряжения, численно равные по разным фасадам 0,33...0,42 МПа.

Неравномерность распространения трещин по фасадам здания и в пределах температурных блоков доказана приведенными в статье расчетами, выполненными с учетом пространственной ориентации фасадов здания по сторонам света, особенностей освещения и нагрева прямыми солнечными лучами, а также с учетом имеющегося затенения стен деревьями, высаженными вдоль фасадов здания. Таким образом, доказано, что трещины в наружных стенах здания имеют температурный характер образования и развития.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирпичные фасады. Правильные технические решения и примеры успешной реализации / Г. И. Гринфельд, А. А. Вишнеvский, П. П. Пастушков, А. Н. Козлов // Строительные материалы. – 2017. – № 4. – С. 47-50.
2. **Шмелев, Г. Д.** Безопасность эксплуатируемых зданий на основе мониторинга технического состояния строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, А. И. Ишков // Строительная механика и расчет сооружений. – 2008. – № 5. – С. 66-70.
3. **Шмелев, Г. Д.** Мониторинг и прогноз технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений / Г. Д. Шмелев, Э. В. Сазонов, М. С. Кононова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 9-18.
4. **Мурый, М. А.** Температурные деформации влажной кирпичной кладки / М. А. Мурый // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2008. – № 1(18). – С. 79-85.
5. **Шапиро, Г. И.** К вопросу о напряженно-деформированном состоянии жилых и общественных зданий при температурных воздействиях / Г. И. Шапиро, В. С. Коровкин // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. – № 12. – С. 5-8.
6. **Касимов, Р. Г.** О необходимости убедительного обоснования для принятия решения об усилении строительных конструкций зданий и сооружений / Р. Г. Касимов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2013. – № 3(11). – С. 48-50.
7. Некоторые теоретические обоснования появления в кирпичной кладке несквозных одиночных вертикальных на всю высоту здания трещин / С. П. Сушев, В. В. Самарин, Ю. В. Ларионов, И. Ю. Сорокина // Наука и безопасность. – 2015. – № 3(16). – С. 9-18.
8. **Садыкова, Р. Р.** Учет температурных деформаций при мониторинге и разработке технических решений по капитальному ремонту несущих кирпичных стен / Р. Р. Садыкова, И. Л. Тонков // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2016. – Т. 2. – С. 92-97.
9. **Архипова, А. Н.** Повышение теплоэффективности зданий с учетом температурных деформаций / А. Н. Архипова, Л. П. Нагрузова // Вестник евразийской науки. – 2018. – Т. 10. – № 6. – С. 60.
10. **Шмелев, А. Г.** Влияние трещин в наружных стенах здания на их теплозащитные характеристики / А. Г. Шмелев, Н. А. Драпалюк, Г. Д. Шмелев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 1(24). – С. 18-25.
11. **Садыкова, Р. Р.** Применение программного комплекса Ansys Workbench для учета температурных деформаций поврежденных кирпичных стен здания / Р. Р. Садыкова, И. Л. Тонков // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2017. – Т. 1. – С. 151-157.

*Поступила в редакцию 13 февраля 2024*

## CALCULATION JUSTIFICATION OF TEMPERATURE DEFORMATIONS OF STONE WALLS IN A BUILDING

**G. D. Shmelev, E. V. Sazonov, A. N. Ishkov**

---

Gennady Dmitrievich Shmelev, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(4732)271-52-49; e-mail: shmelev8@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

Alexey Nikolaevich Ishkov, 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: ishkov1.78@mail.ru

---

The article uses a specific example of a long-term residential building in climatic conditions of the city of Voronezh to consider the reasons for the uneven formation of cracks of temperature origin and development on the facades. In 2023 employees of the Voronezh State Technical University carried out a sample survey of the building when the most probable causes of cracking in the external stone walls of the building were investigated and analyzed. They assessed the actual category of the technical condition of the walls and foundations of the building. As well they carried out verification calculations of temperature deformations of the external stone walls of the building. When performing calculations for the external stone walls of the building, the following factors were taken into account: uneven location of cracks in the walls of the building; the presence of three temperature blocks in the building, separated by two temperature-shrinkage expansion joints; spatial orientation of the building and orientation of the building facades according to the cardinal directions; the presence or absence of shading of the external walls of the building by trees; actual strength and deformation characteristics of the materials of the external stone walls of the building; the presence or absence of plaster coating on the walls of different facades of the building and the color of the building facades. The calculation of the thermal deformations of the building was carried out taking into account the requirements of SP 50.13330.2012 'Thermal protection of buildings', SP 131.13330.2020 'Building climatology. SNiP 23.01.99\*' and SP 15.13330.2012 'Stone and reinforced masonry structures. Updated edition of SNiP II-22-81\*'. The calculations confirmed the actual uneven distribution of cracks on the facades of the building and within temperature blocks, as well as the temperature nature of the formation of cracks in the external walls of the building.

**Keywords:** stone walls; residential buildings; temperature deformations; orientation of the walls according to the cardinal directions; temperature cracks; calculation justification.

#### REFERENCES

1. **Grinfeld G. I., Vishnevsky A. A., Pastushkov P. P., Kozlov A. N.** *Brick facades. Correct technical solutions and examples of successful implementation.* Construction materials. 2017. No. 4. Pp. 47-50. (in Russian)
2. **Shmelev G. D., Ishkov A. I.** *Safety of buildings in use based on monitoring the technical condition of building structures.* Structural mechanics and design of structures. 2008. No. 5. Pp. 66-70. (in Russian)
3. **Shmelev G. D. Sazonov E. V., Kononova M. S.** *Monitoring and forecast of the technical condition of building structures of buildings and structures.* Housing and communal infrastructure. 2021. No. 3 (18). Pp. 9-18. (in Russian)
4. **Mury M. A.** *Temperature deformations of wet brickwork.* Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2008. No. 1 (18). Pp. 79-85. (in Russian)
5. **Shapiro G. I., Korovkin V. S.** *On the issue of stress-strain state of residential and public buildings under temperature influences.* Industrial and civil construction. 2008. No. 12. Pp. 5-8. (in Russian)
6. **Kasimov R. G.** *On the need for a convincing justification for making decisions on strengthening building structures of buildings and structures.* Newsletter of SGASU. Urban planning and architecture. 2013. No. 3(11). Pp. 48-50. (in Russian)
7. **Sushchev S. P., Samarin V. V., Larionov Yu. V., Sorokina I. Yu.** *Some theoretical justifications for the appearance in brickwork of non-through single vertical cracks throughout the entire height of the building.* Science and safety. 2015. No. 3 (16). Pp. 9-18. (in Russian)
8. **Sadykova R. R., Tonkov I. L.** *Taking into account temperature deformations when monitoring and developing technical solutions for the overhaul of load-bearing brick walls.* Modern technologies in construction. Theory and practice. 2016. T. 2. Pp. 92-97. (in Russian)

9. **Arkhipova A. N., Nagruzova L. P.** *Increasing the thermal efficiency of buildings taking into account temperature deformations.* Bulletin of Eurasian Science. 2018. V. 10. No. 6. Pp. 60. (in Russian)

10. **Shmelev A. G., Drapalyuk N. A., Shmelev G. D.** *Influence of cracks in the external walls of a building on their heat-protective characteristics.* Housing and communal infrastructure. 2023. No. 1(24). Pp. 18-25. (in Russian)

11. **Sadykova R. R., Tonkov I. L.** *Application of the Ansys Workbench software package for accounting of temperature deformations of damaged brick walls of a building.* Modern technologies in construction. Theory and practice. 2017. V. 1. Pp. 151-157. (in Russian)

*Received 13 February 2024*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Шмелев, Г. Д.** Расчетное обоснование температурных деформаций каменных стен здания / Г. Д. Шмелев, Э. В. Сазонов, А. Н. Ишков // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 1(28). – С. 9-18. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.001.

**FOR CITATION:**

**Shmelev G. D., Sazonov E. V., Ishkov A. N.** *Calculation justification of temperature deformations of stone walls in a building.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 9-18. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.001. (in Russian)

## **ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ**

### **ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES**

DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.002

УДК 697.311

#### **УЧЕТ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ В ТИПОВЫХ УЗЛАХ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА**

**С. М. Усиков, Д. Ю. Желдаков**

---

Усиков Сергей Михайлович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Теплогасоснабжение и вентиляция», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Российская Федерация, тел.: +7(499)188-36-07; e-mail: usikovsm@mgsu.ru  
Желдаков Дмитрий Юрьевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, Москва, Российская Федерация, тел.: +7(495)482-40-76; e-mail: djeld@mail.ru

---

В настоящее время в виду несовершенства предложенных методик гидравлического расчета систем водяного отопления, не учитывается взаимное влияние местных сопротивлений, что приводит к неверному подбору оборудования и определения итогового сопротивления контура системы. Это, в свою очередь, приводит к неправильному распределению теплоносителя по системе и, как следствие, снижению уровня теплового комфорта. В данной работе проведен анализ известных способов определения потери давления в местных сопротивлениях с учетом их взаимного влияния при близком расположении. Выбраны типовые узлы, применяемые в современных системах водяного отопления, оборудованных автоматическими регуляторами. Представлены результаты исследования гидравлических характеристик типовых узлов подключения отопительных приборов в современных системах водяного отопления, с учетом взаимного влияния местных сопротивлений. Определена методика по оценке гидравлических характеристик данных узлов. Сопоставлены результаты экспериментального исследования, теоретического определения, а также поэлементного определения потери давления в узле. Оценена разница гидравлических характеристик арматуры, установленной вне зоны взаимного влияния местных сопротивлений, и непосредственно в узле. Оценено влияние температуры теплоносителя на потери давления в местных сопротивлениях. Анализ показал несовпадение результатов теоретических расчетов и экспериментальных исследований до 200 % (с учетом диапазона достоверных измерений). Данный анализ подтвердил острую необходимость выполняемой работы и правильность поставленной в ней цели. Предложены формулы для расчета поправочных коэффициентов, учитывающих взаимное влияние местных сопротивлений в узлах, а также температуру теплоносителя.

**Ключевые слова:** отопительный прибор; местное сопротивление; гидравлический расчет; гидравлическая характеристика; потеря давления.

Автоматическое регулирование широко применяется в современных системах водяного отопления. Под регулированием системы отопления понимают комплекс мероприятий, направленных на приближение теплоотдачи ее элементов к текущей переменной теплотребности отапливаемых помещений в течение отопительного сезона для поддержания расчетной температуры воздуха.

Для достижения комфорта в обслуживаемых помещениях в современных системах водяного отопления применяется автоматическое эксплуатационное регулирование, которое осуществляется с помощью автоматической балансировочной арматуры: регулирую-

щие клапаны с термостатической головкой, автоматические регуляторы перепада давления и расхода. Все эти элементы в процессе эксплуатации создают переменный тепло-гидравлический режим работы системы.

Важно отметить, что данные устройства обычно устанавливаются в узлах системы отопления: узлах подключения стояков к магистрали, на ответвлениях, перед коллекторной группой, или, в случае термоклапанов, на входе в отопительный прибор. При этом другие местные сопротивления (отводы, тройники, крестовины, коллекторы, трубопроводная арматура) находятся в непосредственной близости. Это приводит к тому, что геометрические характеристики потока искажаются, а значит, реальная потеря давления может сильно отличаться от проектной.

Исследованиями в области гидравлического режима систем отопления занимались А. Н. Сканави, Л. М. Махов, И. Г. Староверов, Р. Яушовец. Современные методики гидравлического расчёта с регуляторами предложили В. В. Пырков, Г. Росс, Б. М. Хрусталева, В. В. Покотилова.

Однако данные работы опираются на заданные производителем основные гидравлические характеристики арматуры, которые зачастую вызывают сомнения, а иногда получены в ходе испытаний, которые не учитывают взаимного влияния местных сопротивлений.

Исследованиями в области определения гидравлических характеристик арматуры занимались такие отечественные ученые как Г. А. Мушин, А. М. Эрлих, И. Е. Идельчик, И. З. Аронов, В. В. Аронович, Д. Ф. Гуревич, Б. И. Дуб, Л. А. Кузнецов, Б. В. Рудомино, Н. Л. Ролле, Н. З. Френкель, В. В. Кисин, Б. Н. Караев, Л. Э. Родэ. Среди зарубежных ученых, занимавшихся данной тематикой, стоит отметить Ю. Л. Вейсбаха, М. Хоттингера, М. Геюма, Г. Флайдерера, Г. Рихтера, и А. Клостархайфена.

В настоящее время есть работы, посвященные данной тематике, выполненные такими учеными как Н. Б. Сбродов, О. Д. Павлов [1], А. В. Телепнева, Д. Д. Дымочкин [2], И. Р. Чиняев, А. В. Фоминых [3] и другими.

Изучением взаимного влияния местных сопротивлений занимались отечественные ученые Ю. А. Скобельцын, П. В. Хомутов, А. Д. Альтшуль. Исследования этих ученых были проведены в прошлом веке, и учитывали малое количество комбинаций местных сопротивлений. Кроме того, набор местных сопротивлений не отражает современную конструкцию трубопроводной арматуры и систем отопления, а также процессы автоматического регулирования.

Сравнительно недавние исследования в области определения узлов систем отопления проводили Д. Г. Гилязов, М. А. Валиуллин, З. Х. Замалеев, Р. А. Усманов, А. П. Давыдов [4...6]. Результаты данных исследований дали возможность оценить характеристику сопротивления всего узла, однако, не дана оценка изменения сопротивления каждого отдельного элемента в узле.

Во многом на точность гидравлического расчета системы влияет способ определения потери давления в местных сопротивлениях. В отечественной и зарубежной практике широко применяется понятие коэффициента местного сопротивления (КМС), который принимается условно постоянным для конкретного местного сопротивления. Он характеризует потери давления в элементе системы, отнесенные к динамическому давлению потока непосредственно перед местным сопротивлением.

Приводимые в справочниках, а также паспортах на оборудование, экспериментальные данные о коэффициентах местных сопротивлений относятся к движению жидкости с нормальным (выравненным) полем скоростей. В действительности местные сопротивления размещены иногда настолько близко одно к другому, что поток между ними не успевает выровняться, поскольку вихреобразования, возникающие при прохождении через местное сопротивление, сказываются на значительном протяжении вниз по течению. Это расстояние после местного сопротивления, в пределах которого устанавливается нормальная

(выравненная) эпюра скоростей и прекращается влияние местного сопротивления на поток, называется длиной влияния местного сопротивления. При больших числах Рейнольдса в первом приближении для оценки длины влияния пользуются соотношением  $l_{вл} \geq (30 \dots 40)d$ . Длина влияния зависит как от геометрии местного сопротивления, так и от коэффициента гидравлического трения на стабилизированном участке потока.

Суммарный коэффициент местного сопротивления нескольких близко расположенных сопротивлений может быть как больше, так и меньше суммы соответствующих коэффициентов единичных сопротивлений в зависимости от длины прямого участка между ними.

Очевидно, что приведенные выше исследования освещают очень узкий круг вопросов, связанный с взаимным влиянием регулирующей арматуры и местных сопротивлений в трубопроводных узлах, а значит необходимо проведение современных исследований в этой области.

Таким образом, актуальным представляется исследование характеристик запорной и запорно-регулирующей арматуры с учетом автоматического регулирования и взаимного влияния местных сопротивлений в узлах системы, а также учет отклонения фактического значения сопротивления системы отопления от расчетного.

Среди эксплуатируемых и проектируемых систем водяного отопления жилых зданий чаще остальных можно отметить:

- ✓ вертикальные однотрубные системы с замыкающим участком (встречаются чаще в эксплуатации, нежели в новом строительстве);
- ✓ вертикальные двухтрубные (встречаются чаще в эксплуатации, реже в новом строительстве);
- ✓ горизонтальные (поквартирные) системы отопления с этажными коллекторами (активно применяются с 2012 г. в новом строительстве).

Исследование гидравлического режима работы каждой системы действительно представляет первостепенный интерес [7...10], однако, взаимное влияние местных сопротивлений должно наблюдаться именно в узлах систем. В связи с этим, в качестве исследуемых узлов были выбраны следующие:

- ✓ узел подключения отопительного прибора по двухтрубной схеме, с использованием термостатического клапана с повышенным гидравлическим сопротивлением и возможностью предварительной настройки, далее – Узел 1, (см. рис. 1);
- ✓ узел подключения отопительного прибора по однотрубной схеме со смещённым замыкающим участком, с использованием термостатического клапана с пониженным гидравлическим сопротивлением, далее – Узел 2, (см. рис. 2);
- ✓ узел подключения стояка системы отопления с применением автоматического регулятора перепада давления и клапана-дублера.
- ✓ узел этажного коллектора системы квартирного отопления.

В силу большого количества полученных результатов эксперимента, и обширных результатов анализа, в данной статье приведена информация только для Узлов 1 и 2. В дальнейшем будут опубликованы результаты испытаний 3 и 4 узлов.

Для исследования гидравлических характеристик узлов, применяемых в системах отопления, в режимах близких к реальным режимам эксплуатации системы, был использован стенд, разработанный в НИИ Строительной физики Российской Академии архитектуры и строительных наук, схема которого представлена в [7].

Исследование гидравлических характеристик для типовых узлов подключения отопительного прибора (Узел 1 и Узел 2) проводилось при следующих условиях:

- ✓ при различной температуре теплоносителя на входе в узел (22 °С, 95 °С);
- ✓ при различном расходе теплоносителя (не менее 5 значений);
- ✓ при различном положении настройки термостатического клапана (не менее 5) и снятой термостатической головке.

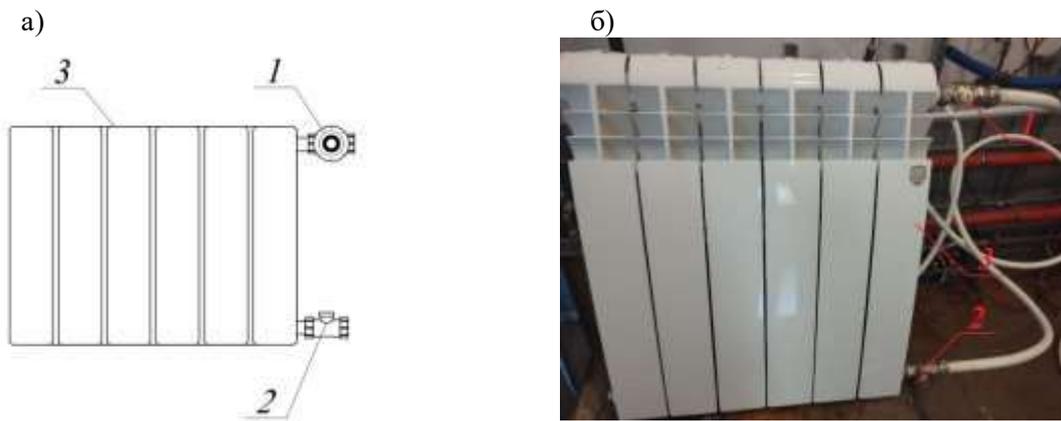


Рис. 1. Типовой узел (Узел 1) подключения отопительного прибора:  
 а – принципиальная схема узла; б – внешний вид узла, подключенного к стенду;  
 1 – термостатический клапан TR-N DN 15; 2 – клапан запорный LV DN15;  
 3 – секционный биметаллический радиатор BiLiner 500 Traffico 6 секций

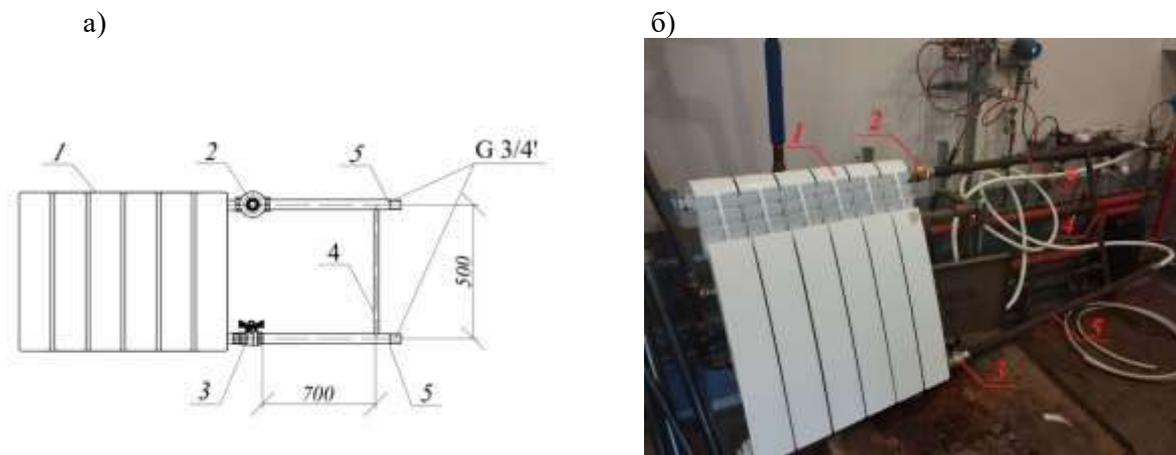


Рис. 2. Типовой узел (Узел 2) подключения отопительного прибора:  
 а – принципиальная схема узла; б – внешний вид узла, подключенного к стенду;  
 1 – секционный биметаллический радиатор BiLiner 500 Traffico 6 секций;  
 2 – термостатический клапан TR-G DN20; 3 – шаровой кран VALTEC PERFECT DN20;  
 4 – замыкающий участок Ду15; 5 – подводки к отопительному прибору Ду20

Для каждого этапа эксперимента определялся коэффициент сопротивления по формуле:

$$\zeta = \frac{1,62 \cdot 10^{-6} \pi^2 d_{\text{вн}}^4}{\rho Q^2} \Delta p, \quad (1)$$

где  $Q$  – расход воды, проходящий через исследуемый образец, по показаниям расходомера, м<sup>3</sup>/ч;  $\rho$  – плотность теплоносителя, кг/м<sup>3</sup>;  $d_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр измерительного участка, мм, определяется измерением с помощью штангенциркуля, после проведения эксперимента, мм;  $\Delta p$  – потеря давления в исследуемом образце, Па, определяемая по формуле:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{изм}} - \Delta p_{\text{вст}}, \quad (2)$$

где  $\Delta p_{\text{изм}}$  – потери давления, полученные в ходе измерения на сменном участке с установленным исследуемым образцом, Па;  $\Delta p_{\text{вст}}$  – потери давления, полученные в ходе измерения на сменном участке без исследуемого образца, Па.

Статистическая обработка экспериментальных значений коэффициента сопротивления проводилась в следующей последовательности:

✓ рассчитывалось среднее арифметическое значение коэффициента сопротивления, для испытания при фиксированной температуре среды по формуле:

$$\bar{\zeta}_t = \frac{\sum_{k=1}^N \zeta_{k,t}}{N}, \quad (3)$$

где  $k$  – номер измерения, при определенном расходе и температуре воды;  $N$  – количество, при определенном расходе и температуре воды;  $\zeta_{k,t}$  – коэффициент сопротивления, определенный по формуле (1), при определенном расходе и температуре теплоносителя.

✓ рассчитывалось среднее квадратичное отклонение по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\bar{\zeta}_t - \zeta_{k,t})^2}{N-1}}. \quad (4)$$

✓ рассчитывалась нижняя  $\zeta_n$  и верхняя  $\zeta_b$  границы трехсигмового интервала по формулам:

$$\zeta_n = \bar{\zeta}_t - 3\sigma; \quad (5)$$

$$\zeta_b = \bar{\zeta}_t + 3\sigma; \quad (6)$$

✓ из массива экспериментальных данных были исключены «грубые» ошибки – значения, выходящие за интервал  $[\zeta_n; \zeta_b]$ , и по оставшимся данным повторялся расчёт по формулам (2)...(6).

Расчетная потеря давления в узле  $\Delta p_{\text{расч}}$ , Па, определялась как сумма потери давления по длине и в местных сопротивлениях, определенная по паспортным значениям при расходе теплоносителя, измеренном в ходе эксперимента  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч.

Расчетный коэффициент сопротивления узла  $\zeta_{p,t}$  определяется по формуле:

$$\zeta_{p,t} = \frac{1,62 \cdot 10^{-6} \pi^2 d_{\text{вн}}^4}{\rho Q^2} \Delta p_{\text{расч}}. \quad (7)$$

Коэффициент Альтшуля определяется по формуле:

$$\beta = \frac{\zeta_{k,t}}{\zeta_{p,t}}. \quad (8)$$

По результатам проведения эксперимента были получены свыше 220 экспериментальных точек.

Для Узла 1 было проведено тройное сравнение результатов:

- ✓ экспериментального исследования;
- ✓ расчетного исследования;
- ✓ экспериментального исследования отдельных элементов узла.

На рис. 3...5 представлены зависимости коэффициента сопротивления и потери давления от расхода теплоносителя в Узле 1 при некоторых положениях настройки клапана.

Стоит отметить, что несмотря на значительное изменение пропускной способности клапана, при различном положении его настройки, согласно паспорту на изделие, характеристика узла практически не изменялась. Как выяснилось позже, это было связано с браком регулятора (не проворачивалась настроечная вставка). В связи с этим был проведен ряд дополнительных экспериментов, в которых определялась характеристика сопротивления отдельных элементов узла, в том числе и бракованного изделия.

Несмотря на производственный брак образца, и исключая результаты расчетного определения потери давления, можно сделать вывод, что потери давления, измеренные по отдельности, стабильно показывают значение меньше, чем при общей потере в узле. Это говорит о том, что взаимное влияние местных сопротивлений присутствует, и в данном случае увеличивает общую потерю давления и, соответственно, коэффициент сопротивления.

В диапазоне расхода теплоносителя свыше 0,1 м<sup>3</sup>/ч отклонение между коэффициентом сопротивления в Узле 1, определенном на холодной воде, и при определении в эле-

ментах по отдельности составляет от 6 до 65 %. При нагревом теплоносителя до 95 °С отклонение в этом диапазоне составляет до 206 %.

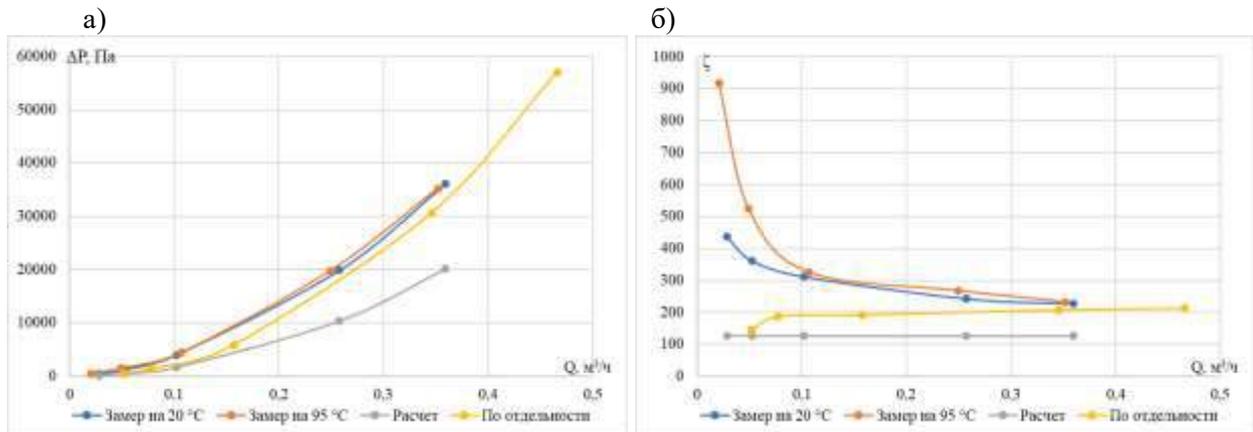


Рис. 3. Сравнение зависимости потери давления (а) и КМС (б) от расхода теплоносителя в Узле 1 (положение настройки клапана б), определенной различными способами

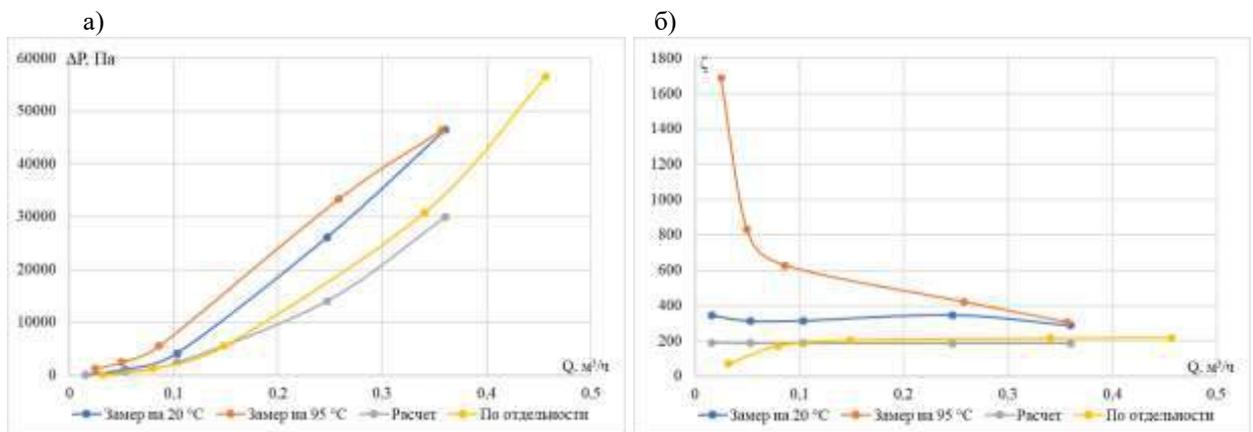


Рис. 4. Сравнение зависимости потери давления (а) и КМС (б) от расхода теплоносителя в Узле 1 (положение настройки клапана 4), определенной различными способами

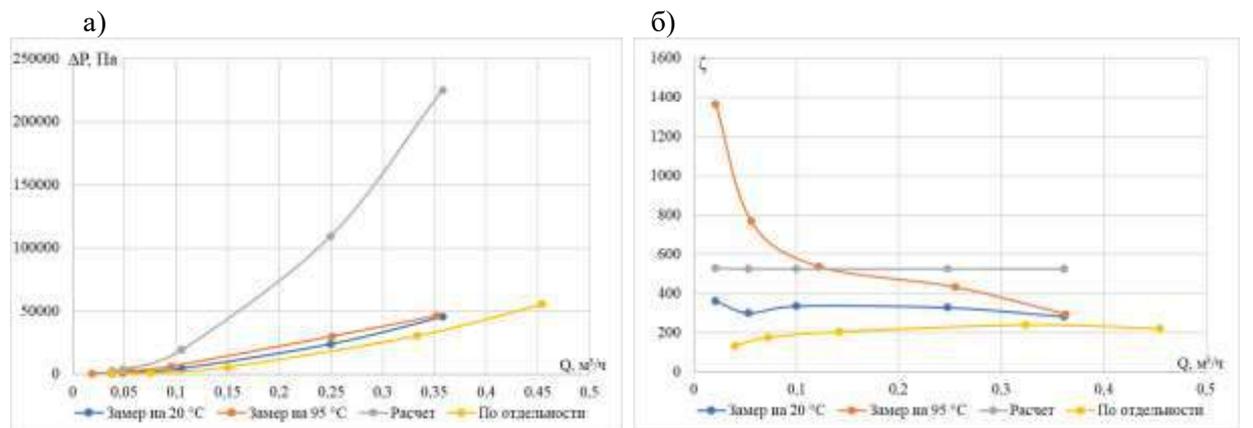


Рис. 5. Сравнение зависимости потери давления (а) и КМС (б) от расхода теплоносителя в Узле 1 (положение настройки клапана 1), определенной различными способами

Также отдельно стоит отметить, что коэффициент сопротивления получается выше, в случае использования более горячего теплоносителя, а значит влияние изменения свойств жидкости от температуры на гидравлическую характеристику узла присутствует.

Для Узла 2 также было проведено сравнение результатов экспериментального и расчетного исследования. На рис. 6 представлены зависимости коэффициента сопротивления и потери давления от расхода теплоносителя в Узле 2.

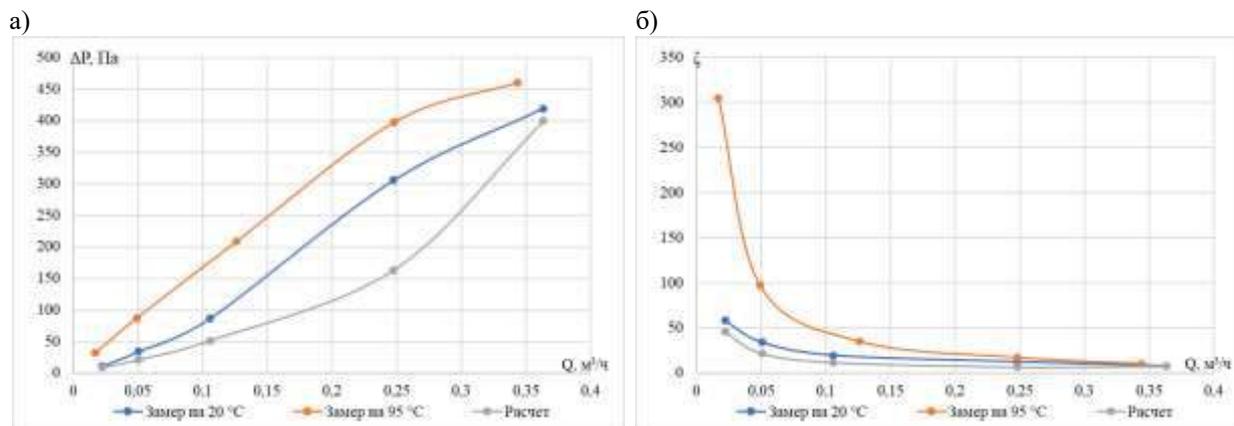


Рис. 6. Сравнение зависимости потери давления (а) и КМС (б) от расхода теплоносителя в Узле 2, определенной различными способами

По результатам сравнения можно отметить стабильно более высокие значения потери давления и коэффициента сопротивления при экспериментальном определении, нежели расчетным способом. Кроме этого, наблюдается более высокое сопротивление узла при более высокой температуре теплоносителя. Несмотря на то, что отклонение доходит до 563 % при горячем теплоносителе и низком расходе, абсолютное же отклонение составляет не более 216 Па при расходе около 0,25 м³/ч. Это не такая большая величина в рамках всего узла, но значительная, например для 17-ти этажного здания, составит дополнительные неучтенные 3,6 кПа потери давления на стояке.

Коэффициент Альтшуля, учитывающий взаимное влияние местных сопротивлений, расположенных в непосредственной близости, может быть определен согласно формуле (8). Для расчета в первую очередь выбирается та зона, в которой коэффициент местного сопротивления мало изменяется, в зависимости от расхода теплоносителя. На графиках гидравлических характеристик, такая зона видна как горизонтальная линия, и говорит об устойчивом течении жидкости в зоне квадратности. Стоит отметить, что для горячего теплоносителя данная зона практически не наблюдается, поэтому на данном этапе расчет коэффициента Альтшуля, определяется для холодного теплоносителя, при его температуре 22 °С. Результаты расчета коэффициента Альтшуля для Узла 1 в зоне устойчивых значений коэффициента сопротивления сведены в табл. 1.

Усредненный коэффициент Альтшуля в данном случае колеблется в диапазоне от 1,43 до 1,6 в целом увеличиваясь по мере роста расхода. Зона резкого роста коэффициента Альтшуля начинается при расходе теплоносителя ниже 0,055 м³/ч (около 53 кг/ч), что входит в зону расхода теплоносителя, проходящего через узел двухтрубного подключения отопительного прибора, который наблюдается в практике проектирования систем. Это означает, что коэффициент Альтшуля, с практической точки зрения, более интересен в данном узле при более низком расходе. Если провести аналогичный расчет, как представлен в табл. 1, но для диапазона расхода менее 0,055 м³/ч, то коэффициент Альтшуля будет равен:

- ✓ при положении настройки клапана 6,0: **3,03**;
- ✓ при положении настройки клапана 4,0: **2,89**;
- ✓ при положении настройки клапана 2,0: **2,69**;
- ✓ при положении настройки клапана 1,0: **2,02**.

Видно, что при увеличении сопротивления узла (потери давления в термостатическом клапане) взаимное влияние начинает уменьшаться, что совершенно противоположно

зависимости в зоне устойчивых значений коэффициента сопротивлений. Тем не менее, сам Коэффициент Альтшуля все равно в данном диапазоне выше.

Таблица 1

## Определение значения коэффициента Альтшуля для Узла 1

Положение настройки клапана 6,0					
Расход теплоносителя $Q$ , м <sup>3</sup> /ч	0,3592	0,2573	0,1021	0,0528	Усредненные значения
Коэффициент сопротивления, полученный в ходе эксперимента	227	243	312	361	285
Коэффициент сопротивления, полученный в ходе эксперимента по элементам	213	208	192	187	200
Коэффициент Альтшуля	1,06	1,17	1,62	1,92	1,43
Положение настройки клапана 4,0					
Расход теплоносителя $Q$ , м <sup>3</sup> /ч	0,3603	0,2470	0,10365	0,0533	Усредненные значения
Коэффициент сопротивления, полученный в ходе эксперимента	290	347	316	314	317
Коэффициент сопротивления, полученный в ходе эксперимента по элементам	219	216	205	172	203
Коэффициент Альтшуля	1,32	1,61	1,54	1,83	1,56
Положение настройки клапана 2,0					
Расход теплоносителя $Q$ , м <sup>3</sup> /ч	0,3617	0,2478	0,1002	0,0535	Усредненные значения
Коэффициент сопротивления, полученный в ходе эксперимента	283	329	337	301	322
Коэффициент сопротивления, полученный в ходе эксперимента по элементам	222	240	205	175	210
Коэффициент Альтшуля	1,27	1,37	1,65	1,72	1,53
Положение настройки клапана 1,0					
Расход теплоносителя $Q$ , м <sup>3</sup> /ч	0,3617	0,2478	0,1002	0,0535	Усредненные значения
Коэффициент сопротивления, полученный в ходе эксперимента	289	313	335	370	327
Коэффициент сопротивления, полученный в ходе эксперимента по элементам	219	224	208	164	204
Коэффициент Альтшуля	1,32	1,40	1,61	2,25	1,60

Подводя итоги исследования данного узла, можно дать определенные рекомендации, об учете коэффициента Альтшуля для данного вида узлов. Коэффициент Альтшуля для теплоносителя с температурой 95 °С можно определить по формуле (полученной аппроксимацией к степенной функции) в зависимости от расхода:

$$\beta = 0,7299Q^{-0,6}. \quad (9)$$

Применение данной формулы, при всех положениях настройки клапана дает погрешность (относительно экспериментальных данных) не более 3 %. Формула для расчета коэффициента Альтшуля на холодном теплоносителе не определялась, так как не имеет практической ценности, в инженерных расчетах систем отопления.

Результаты расчета коэффициента Альтшуля для Узла 2 в зоне устойчивых значений коэффициента сопротивления сведены в табл. 2.

Видно, что и в данном случае, что ни коэффициент сопротивления, ни коэффициент Альтшуля не являются устойчивыми, следовательно необходимо, как и для Узла 1, вывести формулу определения коэффициента Альтшуля от расхода. По аналогии была получена следующая формула:

$$\beta = 0,8689Q^{-0,5}. \quad (10)$$

Таблица 2

## Определение значения коэффициента Альтшуля для Узла 2

Наименование параметра	Значение параметра				
	0,3437	0,2479	0,1261	0,0489	Усредненные значения
Расход теплоносителя $Q$ , м <sup>3</sup> /ч					
Коэффициент сопротивления, полученный в ходе эксперимента при температуре теплоносителя 95 °С	10	17	35	98	40
Коэффициент сопротивления, полученный в ходе расчетов	8	10	12	28	14
Коэффициент Альтшуля	1,34	1,72	2,95	3,48	2,78

Применение данной формулы дает погрешность (относительно экспериментальных данных) не более 7 %. Формула для расчета коэффициента Альтшуля на холодном теплоносителе также не определялась, так как не имеет практической ценности, в инженерных расчетах систем отопления.

**Заключение.**

Проведены исследования гидравлических характеристик типовых узлов систем отопления с современным автоматическим оборудованием. Исследуемое оборудование подбиралось таким образом, чтобы охватить максимальный спектр существующих конструкций систем.

Проведен анализ гидравлических характеристик, полученных в результате исследований по разработанной методике на испытательном стенде, при различной температуре теплоносителя, и на основе гидравлических характеристик, представленных заводом-изготовителем. Анализ показал несовпадение результатов примерно в диапазоне от 0 до 200 % (с учетом диапазона достоверных измерений). Данный анализ подтвердил острую необходимость выполняемой работы и правильность поставленной в ней цели.

Для типовых узлов подключения отопительных приборов определены формулы расчета коэффициента Альтшуля, обеспечивающую достаточную точность при гидравлических расчетах систем водяного отопления. Данные формулы могут быть применены для инженерных расчетов, при проектировании и наладке систем водяного отопления.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Сбродов, Н. Б.** Автоматизация испытания и определения гидравлических характеристик трубопроводной арматуры / Н. Б. Сбродов, О. Д. Павлов // Материалы конференции «Наука XXI века: Технологии, управление, безопасность». – 2017. – С. 255-262.
2. **Телепнева, А. В.** О расчёте гидравлических характеристик запорно-регулирующей арматуры / А. В. Телепнева, Д. Д. Дымочкин // Молодой исследователь Дона. – 2019. – № 2(17). – С. 49-54.
3. Опыт использования ГОСТ Р 55508-2013 при определении гидравлических и кавитационных характеристик запорно-регулирующего клапана клеточного / И. Р. Чиняев, А. В. Фоминых, Е. А. Пошивалов, Е. А. Ильиных // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2016. – № 7-8. – С. 96-100.
4. **Гилязов, Д. Г.** Исследование гидравлических характеристик приборных узлов из медных труб / Д. Г. Гилязов, М. А. Валиуллин // Известия КГАСУ. – 2011. – № 1(15). – С. 127-131.
5. **Валиуллин, М. А.** Исследование гидравлических характеристик приборных узлов поквартирных систем отопления из РЕХ-труб / М. А. Валиуллин, З. Х. Замалеев // Известия КГАСУ. – 2014. – № 4(30). – С. 244-248.

6. **Усманов, Р. А.** Гидравлические характеристики приборных отопительных узлов с термостатическими клапанами / Р. А. Усманов, А. П. Давыдов, М. А. Валиуллин // Вестник технологического университета. – 2015. – Том 18. – № 22. – С. 63-65.

7. **Dinu R. C.** Solutions with differential pressure in heating with radiators / R. C. Dinu, D. Popescu // ASHRAE Journal. – 2016. – № 4. – Pp. 137-142.

8. Pressure sustaining valves / H. Chen, J. Riley, A. Chen, L. Williams, R. Henry // ASHRAE Journal. – 2019. – № 9. – Pp. 24-32.

9. **Милейковский, В. А.** Исследование переменного тепло-гидравлического режима однотрубных вертикальных систем водяного отопления / В. А. Милейковский // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: материалы V конференции. – 2013. – С. 133-139.

10. **Усиков, С. М.** Оценка необходимости установки автоматических регуляторов перепада давления на двухтрубных стояках системы водяного отопления с точки зрения возникновения шума / С. М. Усиков, В. В. Дютин // Известия КГАСУ. – 2019. – № 2(48). – С. 197-203.

11. **Желдаков, Д. Ю.** Исследование гидравлических характеристик арматуры системы отопления. Постановка задачи / Д. Ю. Желдаков, С. М. Усиков // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2022. – № 1. – С. 56-72.

*Поступила в редакцию 22 января 2024*

## ACCOUNTING FOR THE MUTUAL INFLUENCE OF LOCAL RESISTANCE IN TYPICAL HEATING APPLIANCE CONNECTION UNITS

**S. M. Usikov, D. Yu. Zheldakov**

---

Sergey Mikhailovich Usikov, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat, Gas Supply and Ventilation, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, tel.: +7(499)188-36-07; e-mail: usikovsm@mgsu.ru

Dmitry Yurevich Zheldakov, Cand. Sc. (Techn.), Leading Researcher, Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia, tel.: +7(495)482-40-76; e-mail: djeld@mail.ru

---

Currently, due to the imperfections of the proposed methods of hydraulic calculation of water heating systems, the mutual influence of local resistances is not taken into account, which leads to incorrect choice of equipment and determination of the final resistance of the system circuit. This, in turn, leads to an incorrect distribution of the coolant through the system and, as a result, a decrease in the level of thermal comfort. In this paper we carried out an analysis of known methods for determining pressure loss in local resistances, taking into account their mutual influence at close proximity. We detected typical appliances used in modern water heating systems equipped with automatic regulators. So, we present the results of a study of the hydraulic characteristics of typical heating appliance connection points in modern water heating systems, taking into account the mutual influence of local resistance. We defined the methodology for evaluating the hydraulic characteristics of these units. We also compared the results of an experimental study, theoretical determination of the pressure loss in the unit, as well as the element-by-element determination of the pressure loss in the unit. We estimated the difference in the hydraulic characteristics of valves installed outside the zone of mutual influence of local resistance and actually in the unit. We estimated the influence of the coolant temperature on pressure losses in local resistance. The analysis showed a discrepancy between the results of theoretical calculations and experimental studies of up to 200% (taking into account the range of reliable measurements). This analysis confirmed the acute necessity of the work performed and the correctness of the goal set in it. Formulas are proposed for calculating correction coefficients that take into account the mutual influence of

local resistances in the units, as well as the temperature of the coolant.

**Keywords:** heating appliance; local resistance; hydraulic calculation; hydraulic characteristic; pressure loss.

## REFERENCES

1. **Sbrodov N. B., Pavlov O. D.** *Automation of testing and determination of hydraulic characteristics of pipeline fittings*. Proceedings of the conference 'Science of the XXI century: Technologies, management, safety'. 2017. Pp. 255-262. (in Russian)
2. **Telepneva A.V., Dymochkin D. D.** *On the calculation of hydraulic characteristics of control valves*. A young researcher of the Don. 2019. No. 2(17). Pp. 49-54. (in Russian)
3. **Chinyaev I. R., Fominykh A.V., Poshivalov E. A., Ilyinykh E. A.** *Experience of using GOST R 55508-2013 in determining the hydraulic and cavitation characteristics of a cellular shut-off and control valve*. Territory of NEFTEGAZ. 2016. No. 7-8. Pp. 96-100. (in Russian)
4. **Gilyazov D. G., Valiullin M. A.** *Investigation of hydraulic characteristics of instrument assemblies made of copper pipes*. KGASU News. 2011. No. 1(15). Pp. 127-131. (in Russian)
5. **Valiullin M. A., Zamaleev Z. H.** *Investigation of hydraulic characteristics of instrument assemblies of apartment-by-apartment heating systems made of PEX-pipes*. Izvestiya of KGASU. 2014. No. 4(30). Pp. 244-248. (in Russian)
6. **Usmanov R. A., Davydov A. P., Valiullin M. A.** *Hydraulic characteristics of instrument heating units with thermostatic valves*. Bulletin of the Technological University. 2015. Volume. 18. No. 22. Pp. 63-65. (in Russian)
7. **Dinu R. C., Popescu D.** *Solutions with differential pressure in heating with radiators*. ASHRAE Journal. 2016. No. 4. Pp. 137-142.
8. **Chen H., Riley J., Chen A., Williams L., Henry R.** *Pressure sustaining valves*. ASHRAE Journal. 2019. No. 9. Pp. 24-32.
9. **Mileykovsky V. A.** *Investigation of the variable thermal and hydraulic regime of single-tube vertical water heating systems*. Theoretical foundations of heat and gas supply and ventilation: proceedings of the V conference. 2013. Pp. 133-139. (in Russian)
10. **Usikov S. M., Dyutin V. V.** *Assessment of the need to install automatic differential pressure regulators on two-pipe risers of a water heating system from the point of view of noise occurrence*. KGASU News. 2019. No. 2(48). Pp. 197-203. (in Russian)
11. **Zheldakov D. Yu., Usikov S. M.** *Investigation of hydraulic characteristics of heating system fittings. Setting the task*. AVOC: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermophysics. 2022. No. 1. Pp. 56-72. (in Russian)

*Received 22 January 2024*

### ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

**Усиков, С. М.** Учет взаимного влияния местных сопротивлений в типовых узлах подключения отопительного прибора / С. М. Усиков, Д. Ю. Желдаков // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 1(28). – С. 19-29. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.002.

### FOR CITATION:

**Usikov S. M., Zheldakov D. Yu.** *Accounting for the mutual influence of local resistance in typical heating appliance connection units*. Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 19-29. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.002. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.003

УДК 697.921

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОПАДАНИЯ В РАБОЧУЮ ЗОНУ ХОЛОДНОГО НИСПАДАЮЩЕГО ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В ЗДАНИЯХ С ВЫСОКИМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ОСТЕКЛЕНИЯ

А. А. Мершиев, Д. В. Лобанов, Е. Э. Бурак

Мершиев Александр Александрович, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: sasha\_\_1990@mail.ru

Лобанов Дмитрий Валерьевич, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(903)651-33-43; e-mail: LDV-36@mail.ru

Бурак Екатерина Эдуардовна, 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: burak.e@mail.ru

Обоснована актуальность совершенствования способа предотвращения попадания в рабочую зону холодного ниспадающего воздушного потока от наружных ограждающих конструкций. Предложен вариант организации движения воздушных потоков, предотвращающий охлаждение рабочей зоны помещения. Этот результат достигается за счет установки дополнительной светопрозрачной стенки вдоль остекленного фасада, с организацией щелевого канала, в который вовлекается воздух из помещения. За счет этого прогревается дополнительно установленная стенка, повышается радиационная температура в помещении и повышается тепловой комфорт. Приведены результаты расчетов по определению температуры смеси потоков воздуха. Показана возможность регулирования температуры смеси за счет изменения пропорций смешиваемых потоков.

**Ключевые слова:** ниспадающий холодный поток; радиационная температура; потери теплоты; рабочая зона; наружное ограждение.

В настоящее время актуальной задачей является создание оптимальных параметров микроклимата в помещении, которые улучшают условия труда. Современное строительство общественных и административных зданий предполагает наличие наружных ограждений, имеющих высокую площадь остекления, так как это придает зданию высокий эстетический вид, а также привлекательность покупателей и арендаторов помещений в этих зданиях. Согласно СанПин 2.2.4.3359-16 перепады температуры по высоте от уровня пола не должны превышать 2 °С (либо другие допустимые значения в зависимости от категорий работ) [1]. Нормируемые метеорологические условия в помещениях зависят от многих факторов, в том числе от температуры на внутренней поверхности наружной стены и объема ниспадающих токов воздуха, которые попадают в рабочую (обслуживаемую) зону помещения [2].

Важным фактором, который влияет на состояние воздушной среды в помещениях с большим коэффициентом остекления, являются воздушные потоки холодного воздуха, движущегося сверху вниз вдоль наружных ограждений [3]. Указанные воздушные потоки увлекают большие массы воздуха, а суммарный поток воздуха опускается в рабочую зону с температурой более низкой, чем требуется в соответствии с нормативными данными. Опускающиеся потоки холодного воздуха охлаждают воздух в рабочей зоне, при этом образуется тепловой дискомфорт и требуются дополнительные затраты теплоты на обогрев помещения [4, 5].

В известном способе предотвращения попадания в рабочую зону холодного ниспадающего потока воздуха [6] предложен воздуховод равномерной раздачи, который проложен у наружного ограждения. Для выпуска воздуха из воздуховода предусмотрена щель, для образования плоской струи. Плоская струя подогретого воздуха направляется снизу-вверх вдоль наружного ограждения навстречу ниспадающему холодному потоку. Восходящий поток теплового воздуха перемешивается с холодным (ниспадающим) воздухом, тем самым подогревает его до температуры, равной или близкой к температуре воздуха в помещении. В данном способе есть существенные недостатки, а именно: увеличение потерь теплоты через наружное ограждение, т.к. движение двух встречных потоков воздуха вдоль холодной внутренней поверхности наружного ограждения приводит к увеличению интенсивности теплообмена между внутренней поверхностью наружного ограждения и воздуха, а это приводит к увеличению тепловой нагрузки на отопление здания. Кроме того, осуществить равномерную раздачу воздуха через воздуховод (на всю его длину) довольно сложно и требуется значительный расход электроэнергии на электропривод вентилятора, из-за большого объема воздуха в ниспадающем потоке [7, 8].

Предлагаемый авторами способ направлен на улучшение условий пребывания в рабочей зоне за счет создания и поддержания требуемых параметров воздуха, т.е. за счет устранения воздушных потоков холодного воздуха, движущегося сверху вниз вдоль наружных стен с остеклением. Предложенный способ обеспечивает удаление холодного ниспадающего воздушного потока, не позволяя ему охлаждать рабочую зону.

На рис. 1 приведены план и разрез помещения с расположением элементов, требующихся для реализации предлагаемого способа.

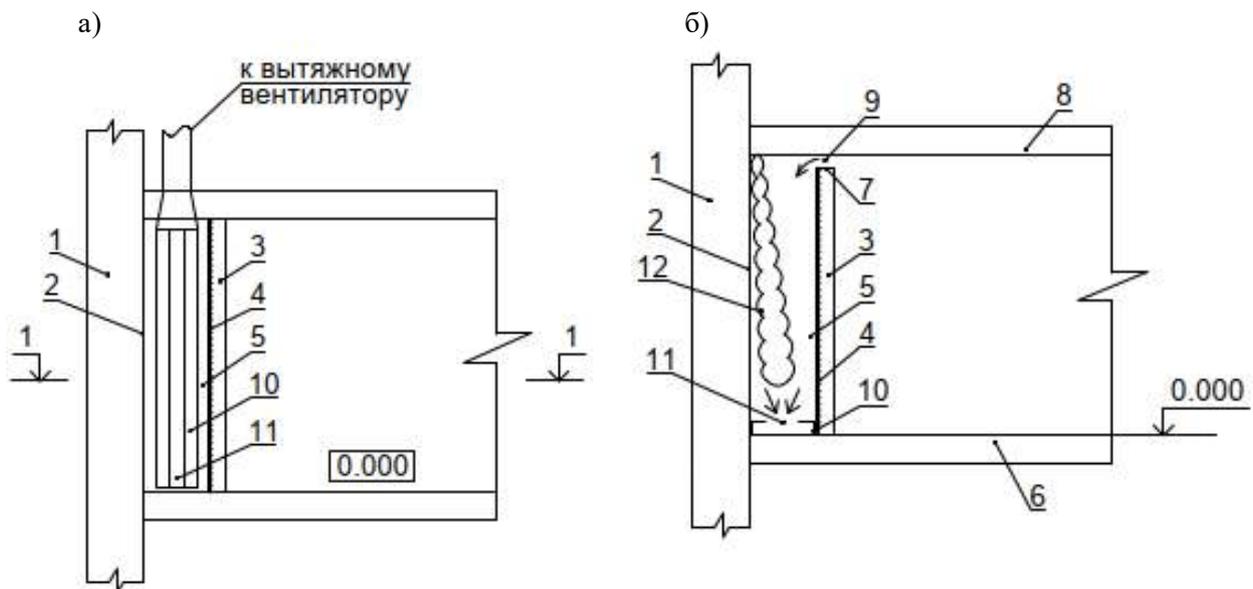


Рис. 1. Схема помещения с расположением элементов, уменьшающих поток нисходящего воздушного потока: а – план, б – разрез

На некотором расстоянии от внутренней поверхности 2 наружного ограждения 1 расположена дополнительная стенка 3 таким образом, что между внутренней поверхностью 2 и дополнительной стенкой из прозрачного материала образован канал 5. Один торец стенки 3 опирается на пол 6, а противоположный торец 7 не доходит до перекрытия (потолка) 8, т.е. между ними образовано отверстие (щель) 9 для входа воздуха из верхней зоны помещения в канал 5.

Дополнительная стенка 3 выполнена из прозрачного материала (органического стекла), с нанесенным на внутреннюю ее поверхность прозрачным теплоотражающим покрытием 4. Конструктивно стенка 3 закреплена с помощью металлического каркаса (на рис. 1

каркас не показан), её функция заключается в ограничении зоны распространения холодных ниспадающих потоков. В канале 5 на полу расположен вытяжной воздуховод 10 равномерного всасывания со щелью 11 для входа воздуха из канала 5. Воздуховод 10 присоединен к вытяжному отверстию вентилятора (вентилятор на рис. 1 не показан).

Предложенная система работает следующим образом. При температуре наружного воздуха  $t_n$  ниже, чем температура внутреннего воздуха, (т.е. во время отопительного периода) температура внутренней поверхности наружного ограждения становится ниже, чем температура воздуха в помещении. Воздух помещения соприкасается с внутренней поверхностью ограждения и охлаждается, при этом плотность воздуха увеличивается, и он начинает опускаться вдоль поверхности 2 вниз. В канале 5 образуется ниспадающий холодный поток воздуха 12. Щель 9 расположена в верхней зоне помещения, с наиболее высокой температурой воздуха. Теплоотражающее покрытие 4 препятствует передаче теплоты от холодного воздуха, который движется в канале 5, через дополнительную стенку 3, не давая охладить воздух в рабочей зоне. Ниспадающий поток холодного воздуха 12, дойдя до воздуховода 10 равномерного всасывания, через щель 11 засасывается вентилятором и удаляется из конвективного канала 5.

Чем больше будет удаляться воздуха из конвективного канала, тем будет выше температура дополнительной стенки 3 и, следовательно, ниспадающий холодный поток не будет охлаждать рабочую зону, а температура воздуха в ней будет приближаться к нормируемой. Изменяя расход удаляемого воздуха можно регулировать температуру дополнительной стенки 3.

Технический результат заключается в том, что воздух из верхней зоны помещения с температурой выше температуры ниспадающего потока, смешивается с ним, за счет этого происходит повышение температуры внутренней поверхности наружного ограждения. Таким образом, происходит уменьшение потерь теплоты через наружное ограждение, вследствие повышения радиационной температуры. Наличие дополнительной стенки позволяет уменьшить объем ниспадающего холодного воздушного потока, а это обеспечит расхода теплоты на отопление здания.

Для оценки эффективности предлагаемого способа проведены теоретические расчеты по определению температуры воздуха в канале на примере помещения с высотой 3 м. Дополнительная стенка установлена таким образом, чтобы между потолком помещения и верхним торцом стенки образовывалась щель на всю длину стенки, через которую поступает воздух в образованный канал с температурой  $t_y$ , которая находится по формуле:

$$t_y = t_b + \text{grad } t (H-h), \quad (1)$$

где  $t_b$  – температура внутреннего воздуха в помещении, равная 20 °С;  $\text{grad } t$  – градиент температуры по высоте помещения выше рабочей зоны, °С/м, принимается равным 0,8;  $H$  – высота помещения, равная 3 м;  $h$  – высота рабочей зоны, равная 2 м;

$$t_y = 20 + 0,8 (3 - 2) = 20,8 \text{ °С.}$$

Воздух с температурой  $t_y$  смешивается с ниспадающим потоком холодного воздуха. Температура образующейся воздушной смеси  $t_{см}$  зависит от пропорций, в которых смешиваются два потока, её можно определить по следующему уравнению:

$$t_{см} = (G_y \cdot t_y + G_{н.п.} \cdot t_{н.п.}) / (G_y + G_{н.п.}), \quad (2)$$

где  $G_y$  – расход удаляемого воздуха, м<sup>3</sup>/ч,  $G_{н.п.}$  – расход ниспадающих холодных потоков воздуха, м<sup>3</sup>/ч,  $t_{н.п.}$  – температура ниспадающего потока холодного воздуха, °С.

Проведем расчеты для разных соотношений воздушных потоков.

Если принять соотношение расхода удаляемого воздуха и расхода ниспадающих холодных потоков  $G_y/G_{н.п.}=1/3$ , то получим следующее уравнение нахождения температуры смеси  $t_{см}$ :

$$t_{см} = 1/3 \cdot t_y + 2/3 \cdot t_{н.п.} \quad (3)$$

Если расход удаляемого воздуха  $G_y$  и расход ниспадающих холодных потоков воздуха  $G_{н.п.}$  одинаков ( $G_y/G_{н.п.}=1$ ), то температура смеси  $t_{см}$  определяется по формуле:

$$t_{см} = 1/2 \cdot t_y + 1/2 \cdot t_{н.п.} \quad (4)$$

При соотношении  $G_y/G_{н.п.} = 2$  уравнение температуры смеси  $t_{см}$  будет иметь следующий вид:

$$t_{см} = 2/3 \cdot t_y + 1/3 \cdot t_{н.п.} \quad (5)$$

Диапазон температур при расчетах принят согласно табл. 3 ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Результаты расчетов по формулам (3)...(5) представлены на рис. 2.

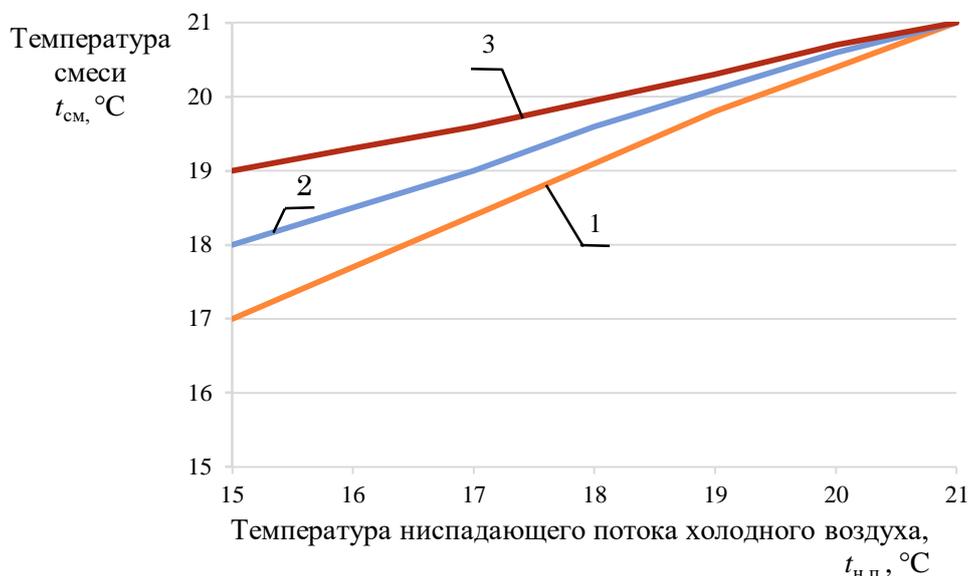


Рис. 2. Зависимость температуры смеси от температуры ниспадающего холодного воздуха при различных пропорциях смешиваемых потоков:  
1 – при  $G_y/G_{н.п.}=1/3$ ; 2 – при  $G_y/G_{н.п.}=1$ ; 3 – при  $G_y/G_{н.п.}=2$

Результаты расчетов показывают, что за счет изменения пропорций смешиваемых потоков можно добиться требуемой температуры смеси, а, соответственно, и температуры дополнительной прозрачной стенки, что обеспечит выполнение требований теплового комфорта в рабочей зоне помещения за счет повышения радиационной температуры [9, 10]. При этом пропорции, в которых будут смешиваться два потока, зависят от многих факторов: расхода воздуха, величины зазора между основным и дополнительным остеклением, теплотехнических и геометрических характеристик светопрозрачного ограждения, конструкции воздухоотводящего канала.

### Заключение.

Предложен вариант предотвращения попадания в рабочую зону холодного ниспадающего воздушного потока применительно к зданиям с высоким коэффициентом остекления, основанный на организации прогретой воздушной прослойки за счет создания дополнительной прозрачной стенки, частично выполняющей функцию вытяжного канала системы механической вентиляции.

Анализ результатов расчетов по определению температуры смеси двух потоков воздуха (ниспадающего холодного от окна и теплого воздуха из помещения) показал возможность регулирования получаемой температуры в широком диапазоне за счет изменения пропорций смешиваемых потоков.

Предложенный способ позволяет уменьшить потери теплоты через наружное ограждение и уменьшить поступление объема ниспадающих холодных потоков воздуха в рабочую (обслуживаемую) зону, что способствует созданию оптимальных параметров микроклимата в помещении.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Мерщиев, А. А.** Натурные исследования ТНС-индекса в рабочей зоне помещения / С. А. Яременко, А. Н. Красникова, А. Д. Голядкина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 3(26). – С. 51-58. – DOI 10.36622/VSTU.2023.26.3.005.
2. **Мерщиев, А. А.** Экспериментальное определение распределения параметров воздушной среды в офисном помещении / Д. В. Лобанов, И. И. Звенигородский, Р. А. Шепс // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2023. – № 1. – С. 143-148.
3. **Мерщиев, А. А.** Влияние коэффициента остекленности на удельную характеристику расхода тепловой энергии зданий / Д. В. Лобанов, Р. А. Шепс, Е. Э. Бурак // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2022. – № 1. – С. 7-11.
4. Определение и оценка параметров световой среды искусственного освещения на рабочем месте / Р. А. Шепс, Д. В. Лобанов [и др.] // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 1(39). – С. 111-117. – DOI 10.52684/2312-3702-2022-39-1-111-117.
5. **Лобанов, Д. В.** Необходимость комплексного подхода при архитектурном проектировании здания / А. А. Мерщиев, И. И. Звенигородский // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2022. – № 1. – С. 27-30.
6. **Гримитлин, А. М.** Авторское свидетельство № 1499067 А1 СССР, МПК F24F 7/04. Способ предотвращения попадания в рабочую зону холодного ниспадающего воздушного потока: № 4293022: заявл. 06.07.1987: опубл. 07.08.1989 / А. М. Гримитлин, А. М. Живов, А. С. Стронгин; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я А-3907, Всесоюзный научно-исследовательский институт охраны труда ВЦСПС в г. Ленинграде.
7. **Гримитлин, А. М.** Авторское свидетельство № 1435896 А1 СССР, МПК F24F 7/04. Способ защиты рабочей зоны помещения: № 4173020: заявл. 04.01.1987: опубл. 07.11.1988 / А. М. Гримитлин, В. Г. Кузьмин, А. Э. Тарасов, О. В. Манкевич; заявитель предприятие П/Я А-3907.
8. **Осипов, С. Н.** Авторское свидетельство № 1753199 А1 СССР, МПК F24F 7/00. Способ защиты рабочей зоны помещения: № 4855733: заявл. 01.08.1990: опубл. 07.08.1992 / С. Н. Осипов, В. М. Староверов, М. Г. Пшоник; заявитель Белорусский политехнический институт.
9. **Новосельцев, Б. П.** Энергосбережение в системах воздушного отопления и вентиляции / Б. П. Новосельцев, Д. В. Лобанов // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: Сборник докладов IX Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика РААСН В.Н. Богословского, Москва, 19–21 апреля 2023 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. – С. 100-106.
10. **Старцева, Н. А.** Особенности проектирования систем обеспечения микроклимата торгово-выставочных комплексов / Н. А. Старцева, А. А. Мерщиев // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 2(7). – С. 50-55.

*Поступила в редакцию 30 января 2024*

## IMPROVEMENT OF PREVENTION METHOD OF COLD FALLING AIR FLOW IN THE WORKING AREA IN BUILDINGS WITH HIGH GLAZING COEFFICIENT

**A. A. Mershchiev, D. V. Lobanov, E. E. Burak**

---

Alexander Aleksandrovich Mershchiev, Senior Lecturer of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: sasha\_\_1990@mail.ru  
Dmitry Valerievich Lobanov, Senior Lecturer, Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(903)651-33-43; e-mail: LDV-36@mail.ru

Ekaterina Eduardovna Burak, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-52-49; e-mail: burak.e@mail.ru

The article substantiates relevance of improving the method of preventing cold falling air flow from external enclosing structures against entering the work area. We proposed a variant of organizing the movement of air flows that prevents cooling of the working area of the room. This result is achieved through installing an additional translucent wall along the glazed facade, with the organization of a slot channel into which air from the room is drawn in. Due to this, the additionally installed wall warms up, the radiation temperature in the room increases and thermal comfort increases, too. We present the results of calculations for determining the temperature of the mixture of air flows. Finally, we show the possibility of regulating the temperature of the mixture by changing the proportions of mixed flows.

**Keywords:** falling cold flow; radiation temperature; heat loss; work area; external enclosure.

## REFERENCES

1. **Mershchiev A. A., Yaremenko S. A., Krasnikova A. N., Golyadkina A. D.** *Field studies of the TNS index in the working area of the room.* Housing and communal infrastructure. 2023. No. 3(26). Pp. 51-58. DOI 10.36622/VSTU.2023.26.3.005. (in Russian)
2. **Mershchiev A. A., Lobanov D. V., Zvenigorodsky I. I., Sheps R. A.** *Experimental determination of the distribution of air parameters in an office room.* High technologies in the construction complex. 2023. No. 1. Pp. 143-148. (in Russian)
3. **Mershchiev A. A., Lobanov D. V., Sheps R. A., Burak E. E.** *Influence of the glazing coefficient on the specific characteristic of the thermal energy consumption of buildings.* High technologies in the construction complex. 2022. No. 1. Pp. 7-11. (in Russian)
4. **Sheps R. A., Lobanov D. V., [and others].** *Determination and assessment of the parameters of the light environment of artificial lighting at the workplace.* Engineering and construction bulletin of the Caspian Sea. 2022. No. 1(39). Pp. 111-117. DOI 10.52684/2312-3702-2022-39-1-111-117. (in Russian)
5. **Lobanov D.V., Mershchiev A. A., Zvenigorodsky I. I.** *The need for an integrated approach in the architectural design of the building.* High technologies in the construction complex. 2022. No. 1. Pp. 27-30. (in Russian)
6. **Grimitlin A. M., Zhivov A. M., Strongin A. S.** *Method of preventing the cold falling air flow from entering the working zone.* Author's certificate No. 1499067 A1 of the USSR, MPK F24F 7/04.: No. 4293022: declared. 06.07.1987: publ. 07.08.1989. applicant enterprise p/l a-3907, all-union research institute of occupational safety and health all-union center for occupational safety. Leningrad. (in Russian)
7. **Grimitlin A. M. Kuzmin V. G., Tarasov A. E., Mankevich O. V.** *Method of protection of the working area of the room* Author's certificate No. 1435896 A1 of the USSR, MPK F24F 7/04.: No. 4173020: application. 04.01.1987: publ. 07.11.1988. applicant-enterprise P/L A-3907. (in Russian)
8. **Osipov S. N.** Author's certificate No. 1753199 A1 of the USSR, MPK F24F 7/00. *Method of protection of the working area of the room:* No. 4855733: application. 01.08.1990: publ. 07.08.1992. applicant Belarusian Polytechnic Institute. (in Russian)
9. **Novoseltsev B. P., Lobanov D. V.** *Energy saving in air heating and ventilation systems.* Theoretical foundations of heat and gas supply and ventilation: Collection of reports of the IX International Scientific and Technical Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Academician RAASN V.N. Theological, Moscow, April 19-21, 2023. Moscow, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 2023. Pp. 100-106. (in Russian)
10. **Startseva N. A., Mershchiev A. A.** *Design features of microclimate support systems for trade and exhibition complexes.* Scientific Journal. Engineering systems and structures. 2012. No. 2(7). Pp. 50-55. (in Russian)

*Received 30 January 2024*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Мерщиев, А. А.** Совершенствование способа предотвращения попадания в рабочую зону холодного ниспадающего воздушного потока в зданиях с высоким коэффициентом остекления / А. А. Мерщиев, Д. В. Лобанов, Е. Э. Бурак // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 1(28). – С. 30-36. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.003.

**FOR CITATION:**

**Mershchiev A. A., Lobanov D. V., Burak E. E.** *Improvement of prevention method of cold falling air flow in the working area in buildings with high glazing coefficient.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 30-36. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.003. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.004

УДК 697.95

## ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ПОМЕЩЕНИИ УМСТВЕННОГО ТРУДА ПРИ РАБОТЕ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

Д. В. Лобанов, И. И. Звенигородский, С. А. Сафонов

Лобанов Дмитрий Валерьевич, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(903)651-33-43; e-mail: LDV-36@mail.ru

Звенигородский Игорь Иванович, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)244-76-45; e-mail: zvendocent@mail.ru

Сафонов Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)244-76-45; e-mail: vgasu.gkh@gmail.com

Выполнены экспериментальные исследования работы различных вентиляционных систем в помещении умственного труда. Рассмотрены системы смешивающей, вытесняющей и персональной вентиляции. Проведены замеры параметров внутреннего воздуха: температура воздуха, относительная влажность, концентрация углекислого газа. Выполнено сравнение соответствия обеспечиваемых вентиляционными системами параметров микроклимата нормируемым значениям. Проведена аппроксимация кривых изменения параметров внутреннего воздуха с течением времени функциями с наиболее высоким коэффициентом детерминации. Выявлено, что системы вытесняющей и персональной вентиляции наиболее эффективны при создании и обеспечении нормируемых параметров воздушной среды в условиях проведенного эксперимента. Представлены рекомендации по организации систем вентиляции в помещениях умственного труда с целью обеспечения комфортных параметров микроклимата.

**Ключевые слова:** микроклимат; схемы вентиляции; смешивающая вентиляция; вытесняющая вентиляция; персональная вентиляция; зона дыхания человека; эффективность работы вентиляции.

Жизнедеятельность человека протекает в постоянном контакте со средой обитания, окружающими предметами, людьми. Среда обитания может оказывать благотворное или неблагоприятное влияние на состояние здоровья человека, его самочувствие и работоспособность. Условия труда, согласно руководству Р 2.2.2006-05 – это совокупность факторов трудового процесса и рабочей среды, в которой осуществляется деятельность человека. Известно, что самочувствие, здоровье и работоспособность людей в течение их жизнедеятельности непостоянны. Рассмотрим факторы, влияющие на человека в течение рабочего времени. К вредным факторам рабочей среды относят: физические (температура, влажность, скорость движения воздуха, тепловое излучение, неионизирующие электромагнитные поля и излучения, производственный шум, ультразвук, вибрация и другие), химические, биологические и иные факторы трудового процесса (эргономическая, психологическая обстановка и т.д.).

Отметим, что в помещении выделяют обслуживаемую зону (ГОСТ 30494-2011), рабочую (ГОСТ 12.1.005-88, Р 2.2.2006-05, 2.2. Гигиена труда) и эксплуатируемую (ГОСТ Р 59972-2021). При этом, по ГОСТ Р 59972-2021, эксплуатируемая (рабочая) зона – пространство определенного объема в помещении, в котором предусмотрено нахождение людей и заданы требования к параметрам воздушной среды. Геометрические характеристики эксплуатируемой (рабочей) зоны приведены на рис. 1 и в табл. 1. В эксплуатируе-

мой (рабочей) зоне должны быть выполнены требования к параметрам воздуха в помещениях, в том числе требования к комфорту. Для оценки соответствия требованиям может быть использована вся площадь помещения, но соответствие требованиям к комфорту за пределами эксплуатируемой (рабочей) зоны не гарантируется (ГОСТ Р 59972-2021).

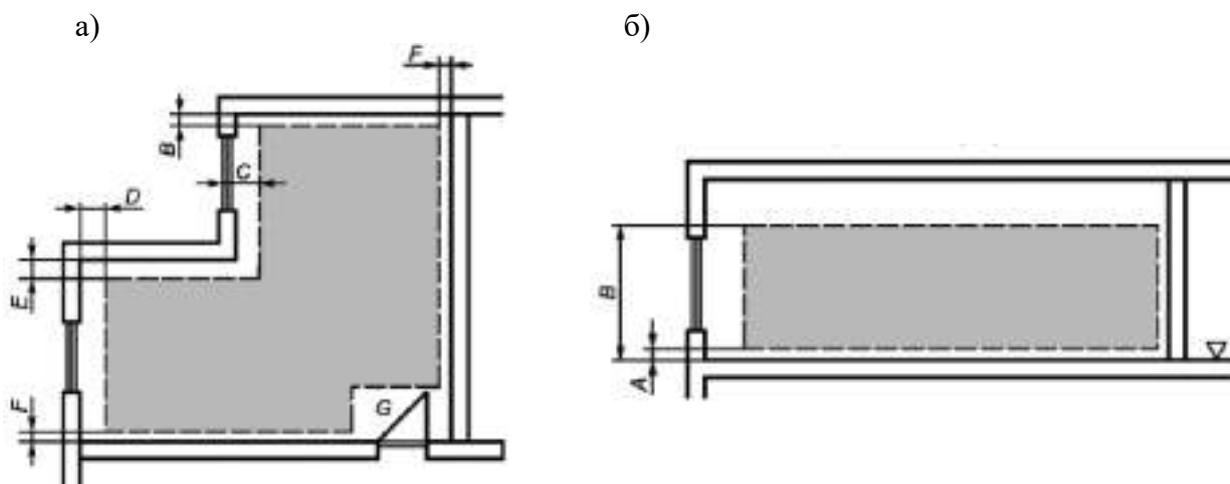


Рис. 1. Пример эксплуатируемой (рабочей) зоны по ГОСТ Р 59972-2021:  
а – план, б – разрез

Таблица 1

Размеры эксплуатируемой (рабочей) зоны по ГОСТ Р 59972-2021

Обозначение расстояния от внутренней поверхности до	Типовой диапазон значений, м	Типовое значение, м
A	от 0 до 0,2 включ.	0,05
B	от 1,3 до 2,0 включ.	1,8
C	от 0,5 до 1,5 включ.	1,0
D	от 0,5 до 1,5 включ.	1,0
E	от 0,15 до 0,75 включ.	0,5
F	от 0,15 до 0,75 включ.	0,5
G	определяется с учетом конкретных условий	-

В данной статье рассмотрим параметры воздушной среды и их соответствие нормативным требованиям для помещений умственного труда при работе систем вентиляции. Параметры окружающей среды, при которых создаются наилучшие для организма человека условия жизнедеятельности, называются комфортными. Однако, нормативные требования (ГОСТ 30494-2011, СанПиН 1.2.3685-21 и др.) к микроклимату помещений различного назначения предусматривают создание и поддержание допустимых или оптимальных параметров воздушной среды.

Исследуемое помещение предназначено для выполнения умственного труда и оборудовано одним постоянным рабочим местом с ПЭВМ (см. рис. 2).

В помещении запроектированы и реализованы системы вентиляции: смешивающая, вытесняющая, персональная (см. рис. 3), имеющие различные коэффициенты эффективности воздухораспределения ( $K_3$ ) [1, 2], ГОСТ 30494-2011.

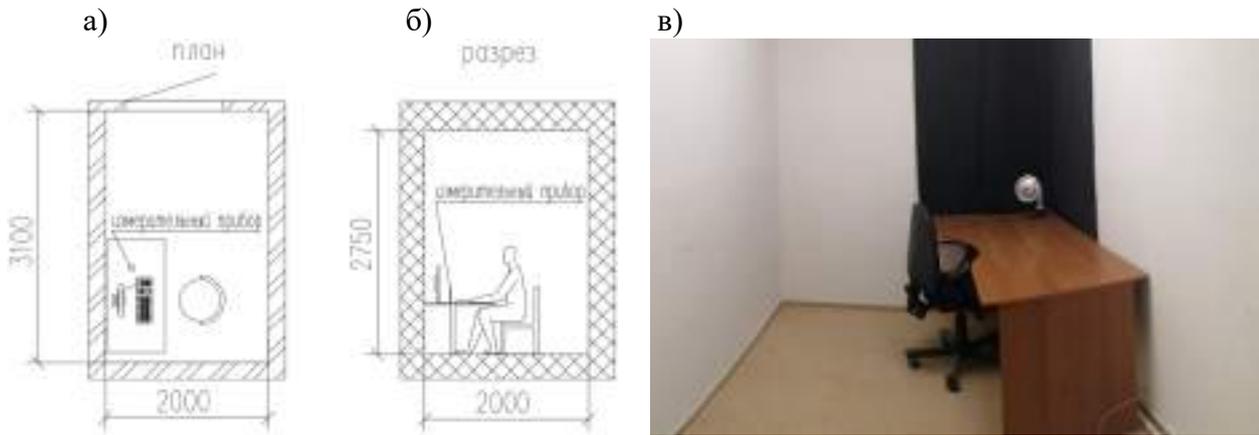


Рис. 2 Помещение для проведения эксперимента:  
а – план помещения; б – разрез помещения; в – фото помещения

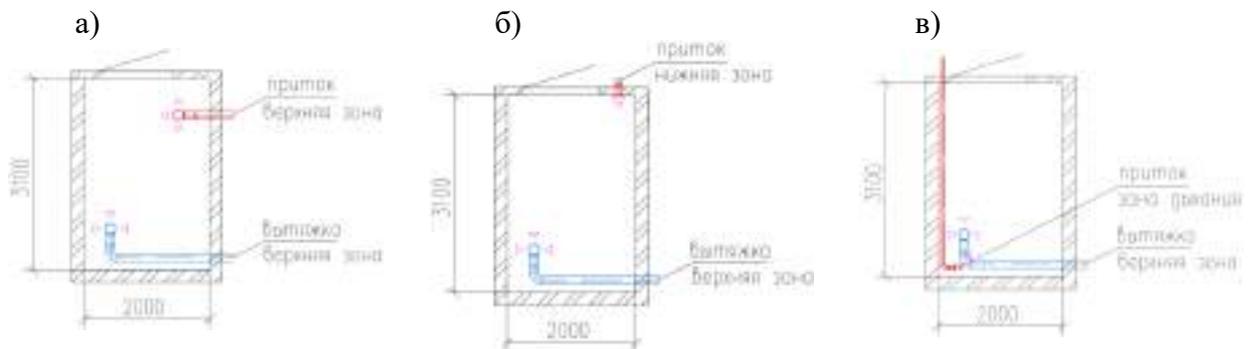
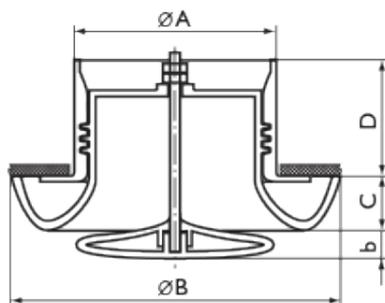


Рис. 3. Принципиальные схемы систем вентиляции исследуемого помещения:  
а) смешивающая ( $K_3=1$ ); б) вытесняющая ( $K_3=0,6\dots 0,8$ ); в) персональная ( $K_3=0,3\dots 0,5$ )

Система смешивающей вентиляции (рис. 3, а) выполнена с организацией движения воздуха «сверху-вверх». В качестве устройств подачи и удаления воздуха в помещении предусмотрены диффузоры ДПУ-М (см. рис. 4), состоящие из корпуса, соединительного патрубка и центральной вставки в виде подвижного обтекателя. Отметим, что при перемещении центральной вставки вдоль оси корпуса изменяется вид формируемой приточной струи: от вертикальной смыкающейся конической до горизонтальной веерной (рис. 5).



$$\text{ØA} = 100\text{мм}$$

$$\text{ØB} = 140\text{мм}$$

$$C = 16\text{ мм}$$

$$D = 55\text{мм}$$

Рис. 4. Характеристики и внешний вид диффузоров ДПУ-М

При выборе типоразмера диффузора и вида формируемой воздушной струи использованы справочные материалы компании «Арктика»: [интернет-ресурс <http://www.arktika.ru/html/dpum.htm>] и программа подбора «Comfort Air». В табл. 2 и табл. 3 приведены данные диффузора ДПУ-М при подаче и удалении воздуха при различных условиях.

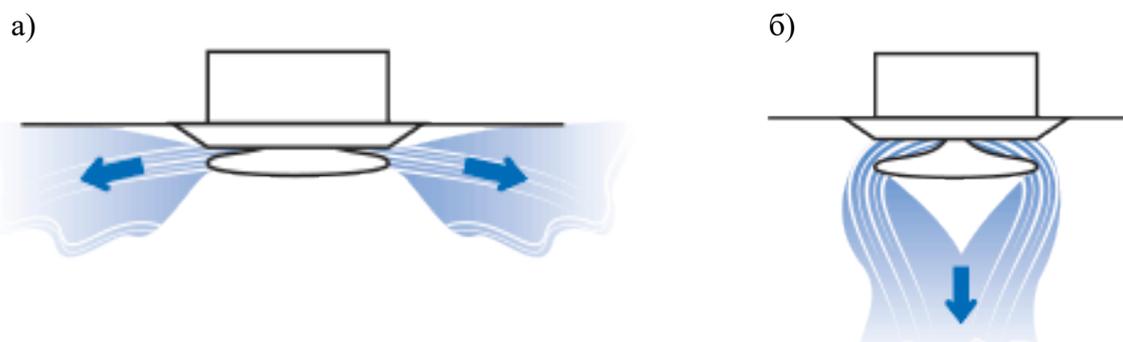


Рис. 5. Виды формируемых струй диффузоров ДПУ-М:  
а – горизонтальная настилающаяся веерная струя; б – вертикальная коническая струя

Таблица 2

Данные для подбора диффузоров ДПУ-М при подаче воздуха

Типоразмер	N*	b, мм	L <sub>WA</sub> =20 дБ(А)				L <sub>WA</sub> =25 дБ(А)			
			L <sub>0</sub> , м <sup>3</sup> /ч	ΔP <sub>пол.</sub> Па	Дальность, м при V <sub>x</sub> , м/с		L <sub>0</sub> , м <sup>3</sup> /ч	ΔP <sub>пол.</sub> Па	Дальность, м при V <sub>x</sub> , м/с	
					0,2	0,5			0,2	0,5
100	ДПУ-М – горизонтальная настилающаяся веерная струя (схема 1, b=0,1А)**									
	10	10	55	34	0,7	0,3	80	73	1,1	0,4
100	ДПУ-М – горизонтальная настилающаяся веерная струя (схема 1, b=0,15А)**									
	15	15	80	19,0	0,8	0,3	90	24	0,9	0,4
100	ДПУ-М – вертикальная коническая струя (схема 2, b=0,2А)									
	20	20	80	16,0	2,0	0,8	100	25	2,5	1,0

Таблица 3

Данные для подбора диффузоров ДПУ-М при удалении воздуха

Типоразмер	N*	b, мм	L <sub>WA</sub> =25 дБ(А)	
			L <sub>0</sub> , м <sup>3</sup> /ч	ΔP <sub>пол.</sub> , Па
100	ДПУ-М, b=0,1А			
	10	10	80	64
100	ДПУ-М, b=0,15А			
	15	15	130	48
100	ДПУ-М, b=0,2А			
	20	20	130	32

Система вытесняющей вентиляции выполнена с организацией движения воздуха «снизу-вверх» (см. рис. 3, б). При этом поступление в помещение приточного воздуха осуществляется с параметрами (скорость движения и температура), близкими к нормируемым параметрам рабочей (обслуживаемой) зоны исследуемого помещения по ГОСТ 30494-2011 [3]. В качестве приточного воздухораспределителя предусмотрена решетка типа АДР 500×100, которая снабжена двумя рядами индивидуально регулируемыми жалюзи, предназначенными для изменения направления и характеристик приточной струи. Жалюзи установлены в пластиковые втулки, которые облегчают их поворот при регулировании. Решетка АДР оснащена встроенным регулятором расхода воздуха. Регулирование расхода осуществляется вручную, без использования инструмента, при помощи специального флажкового механизма. Внешний вид и размеры воздухораспределителя АДР представлены на рис. 6.

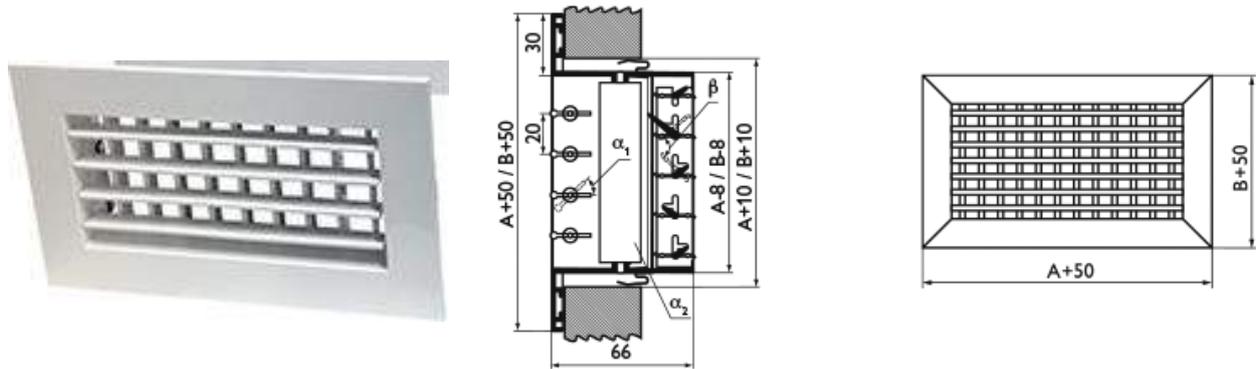


Рис. 6. Внешний вид и размеры воздухораспределителя АДР

В табл. 4 и табл. 5 приведены данные решетки типа АДР 500×100 при подаче воздуха с учетом различных условий.

Таблица 4

Данные для подбора решеток АДР при подаче или удалении воздуха ( $\alpha_1 = \alpha_2 = 0^\circ$  – см. рис. 6)

Типоразмер	$F_0, \text{ м}^2$	$L_{wA} < 20 \text{ дБ(А)}$		$L_{wA} = 20 \text{ дБ(А)}$				$L_{wA} = 25 \text{ дБ(А)}$			
		$\Delta P_{\text{пол.}} \leq 1 \text{ Па}$		$L_0, \text{ м}^3/\text{ч}$	$\Delta P_{\text{пол.}}, \text{ Па}$	Дальнобойность		$L_0, \text{ м}^3/\text{ч}$	$\Delta P_{\text{пол.}}, \text{ Па}$	Дальнобойность	
		$L_0, \text{ м}^3/\text{ч}$	м, при $V_x, \text{ м/с}$			м, при $V_x, \text{ м/с}$	$L_0, \text{ м}^3/\text{ч}$			$\Delta P_{\text{пол.}}, \text{ Па}$	м, при $V_x, \text{ м/с}$
A×B, мм 500×100	0,045	80	0,2   0,5	310	3	0,2   0,5	400	5	0,2   0,5	16	6,3
			3,1   1,3								

Таблица 5

Данные для подбора решеток АДР при подаче воздуха ( $\alpha_1 = 45^\circ$  вверх,  $\alpha_2 = 0^\circ$  – см. рис. 6)

Типоразмер	$F_0, \text{ м}^2$	$L_{wA} \leq 20 \text{ дБ(А)}$		$L_{wA} = 20 \text{ дБ(А)}$				$L_{wA} = 25 \text{ дБ(А)}$			
		$\Delta P_{\text{пол.}} \leq 1 \text{ Па}$		$L_0, \text{ м}^3/\text{ч}$	$\Delta P_{\text{пол.}}, \text{ Па}$	Дальнобойность		$L_0, \text{ м}^3/\text{ч}$	$\Delta P_{\text{пол.}}, \text{ Па}$	Дальнобойность	
		$L_0, \text{ м}^3/\text{ч}$	м, при $V_x, \text{ м/с}$			м, при $V_x, \text{ м/с}$	$L_0, \text{ м}^3/\text{ч}$			$\Delta P_{\text{пол.}}, \text{ Па}$	м, при $V_x, \text{ м/с}$
A×B, мм 500×100	0,045	60	0,2   0,5	160	4	0,2   0,5	200	5	0,2   0,5	4,7	1,9
			1,4   0,6								

Система персональной вентиляции (рис. 3, в) [4] выполнена с организацией подачи приточного воздуха в зону дыхания (по ГОСТ 30494-2011) человека и удалением загрязненного воздуха из верхней зоны. В качестве приточного воздухораспределительного устройства предусмотрена конструкция, размещаемая над поверхностью рабочего стола [5, 6].

Рассмотрим соответствие параметров внутреннего микроклимата в помещении умственного труда нормируемым величинам при работе различных принципиальных схем систем вентиляции. Отметим, что помещения умственного труда, согласно ГОСТ 30494-2011, относят ко 2 категории.

Воздухообмен в исследуемом помещении определен с учетом ГОСТ 30494-2011, СП 60.13330.2020, схем вентиляции, соответствующих им коэффициентов эффективности системы воздухораспределения [1, 2] и представлен в табл. 6.

Таблица 6

Расходы приточного и удаляемого воздуха в помещении		
Тип системы вентиляции	Коэффициент эффективности системы воздухораспределения	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч
смешивающая	1	60
вытесняющая	0,6...0,8	36...48
персональная	0,3...0,5	18...30

В помещении (см. рис. 2) размещается человек, который в течение 9-ти часового рабочего дня (с учетом времени на обеденный перерыв) занят умственным трудом. Выполнены замеры параметров воздушной среды. Их измерение фиксировалось комбинированным прибором оценки качества воздуха в помещении PCE-GA 70 и в автоматическом режиме сохранялось с интервалом в одну минуту. Прибор был размещен на столе в соответствии с рис. 2: на расстоянии 0,5 метра (внешняя граница зоны дыхания) от лица работающего, максимально дальше от места установки приточного воздухораспределителя (см. рис. 2, 3). Такое месторасположение прибора позволяет определить динамику изменения параметров микроклимата в зоне дыхания человека, имеющего постоянное рабочее место. Замер параметров воздуха в других точках помещения (в плане и по высоте) нецелесообразен, так как человек, находясь за ПЭВМ, потребляет воздух из «зоны дыхания» с учетом возможных отклонений положения тела человека [6].

Во время проведения эксперимента внутренних (за исключением человека с ПЭВМ) и внешних возмущающих воздействий, способных изменить подвижность воздуха в помещении, или повлиять на количество выделяющихся вредных веществ, не было.

В результате обработки результатов экспериментальных данных получены графики изменения во времени значений концентрации углекислого газа, температуры внутреннего воздуха, относительной влажности при работе различных схем вентиляционных систем (рис. 7...9). Для построенных графиков выполнена аппроксимация экспериментальных кривых функциями, наиболее достоверно описывающими характер изменения исследуемых величин с течением времени для смешивающей, вытесняющей и персональной систем вентиляции (табл. 7...9).

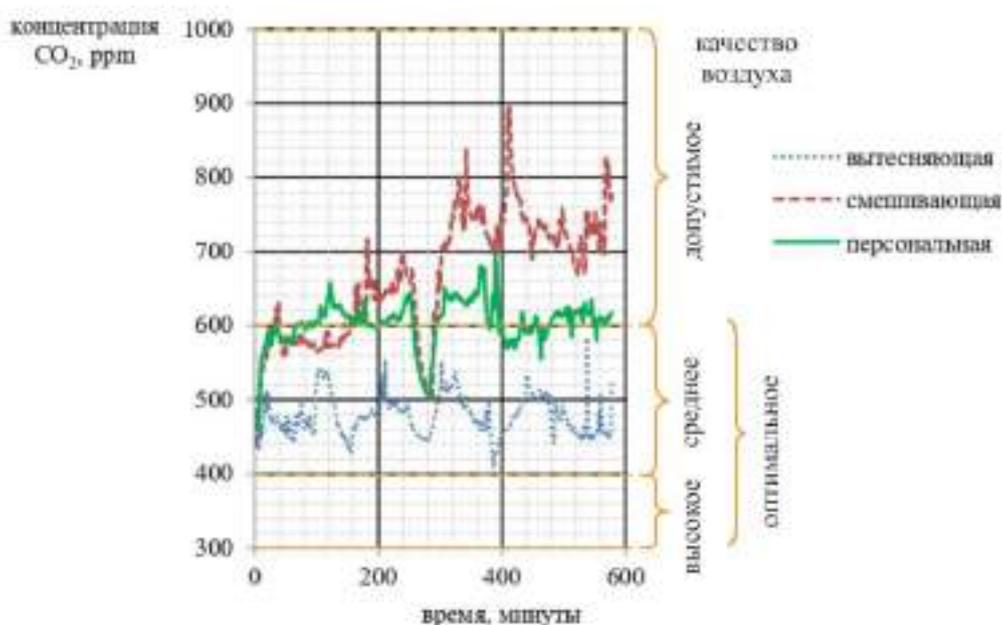


Рис. 7. Изменение концентрации углекислого газа

Таблица 7

Аппроксимация экспериментальных кривых изменения  
концентрации углекислого газа

Тип системы вентиляции	Название функции	Уравнение функции	коэффициент детерминации $R^2$
смешивающая	экспоненциальная	$y = 555,43e^{0,0006x}$	$R^2 = 0,6181$
	линейная	$y = 0,3881x + 552,56$	$R^2 = 0,6194$
	логарифмическая	$y = 62,391\ln(x) + 330,09$	$R^2 = 0,5493$
	полиномиальная	$y = -0,0005x^2 + 0,6908x + 523,3$	$R^2 = 0,6444$
	степенная	$y = 391,15x^{0,0974}$	$R^2 = 0,5696$
вытесняющая	экспоненциальная	$y = 480,37e^{-2E-05x}$	$R^2 = 0,0032$
	линейная	$y = -0,0088x + 481,07$	$R^2 = 0,0031$
	логарифмическая	$y = 1,4244\ln(x) + 470,88$	$R^2 = 0,0028$
	полиномиальная	$y = -0,0002x^2 + 0,1253x + 468,11$	$R^2 = 0,0509$
	степенная	$y = 470,37x^{0,0029}$	$R^2 = 0,0027$
персональная	экспоненциальная	$y = 589,48e^{8E-05x}$	$R^2 = 0,053$
	линейная	$y = 0,0435x + 590,92$	$R^2 = 0,0518$
	логарифмическая	$y = 13,522\ln(x) + 530,95$	$R^2 = 0,1719$
	полиномиальная	$y = -0,0003x^2 + 0,2151x + 574,33$	$R^2 = 0,1054$
	степенная	$y = 529,89x^{0,024}$	$R^2 = 0,1798$

Из рис. 7 видно, что концентрация углекислого газа в течение рабочего дня ниже при работе системы вытесняющей вентиляции, причем концентрация газа в помещении близка к величине его содержания в наружном воздухе (примерно 440 ppm). На рис. 7 представлены диапазоны оптимального (высокое и среднее) и допустимого качества воздуха по ГОСТ 30494-2011. При работе системы персональной вентиляции уровень установившейся величины концентрации  $CO_2$  находится в узком диапазоне, средняя величина составляет 600 ppm.

При смешивающей вентиляции очевиден медленный рост значения концентрации с течением времени (с экстремумом 880 ppm). Отметим, что на графиках всех экспериментальных кривых (особенно прослеживается при работе персональной и смешивающей вентиляции) имеется «локальная яма» (примерно 280 мин, рис. 7), связанная с уходом человека на обеденный перерыв.

Однако, отметим, что при работе вытесняющей и персональной вентиляции величина концентрации  $CO_2$  в помещении выходит на определенный уровень узкого диапазона значений, что свидетельствует об установившемся режиме работы, т.е. при увеличении расхода воздуха «рабочий диапазон» величины концентрации углекислого газа может быть снижен.

График изменения концентрации  $CO_2$  при смешивающей вентиляции показывает, что данная схема организации движения воздуха является не эффективной для борьбы с углекислым газом, т.к. происходит постепенное увеличение величины его концентрации. Из табл. 7 очевидно, что ни одна из рассматриваемых функций не может с высоким коэффициентом детерминации описать изменение концентрации углекислого газа в помещении при работе вентиляционных систем.

Из рис. 8 видно, что средние значения температуры внутреннего воздуха при работе вентиляционных систем немного выше, чем верхняя граница допустимого диапазона (23 °C): для вытесняющей вентиляции 23,2 °C, персональной – 23,6 °C, смешивающей – 24,8 °C. Отметим, что это связано с настройкой воздухонагревателя вентиляционных систем (температура притока 23 °C). На рис. 8 видно, что системы персональной и вытесняющей вентиляции в течение рабочего дня поддерживают стационарный температурный режим в помещении.

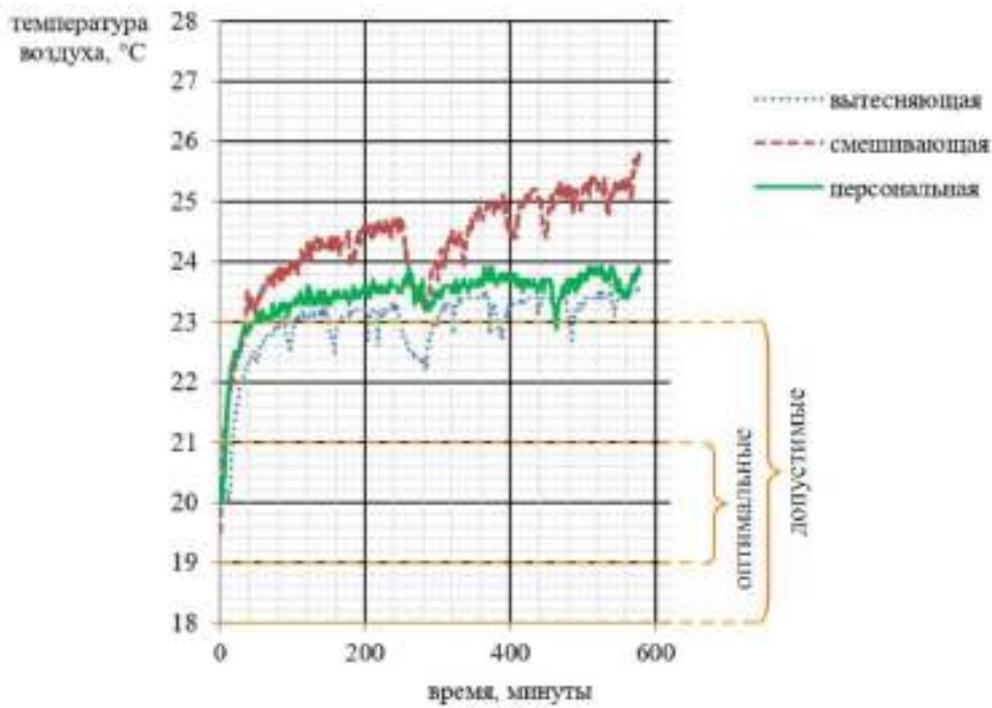


Рис. 8. Изменение температуры внутреннего воздуха

Таблица 8

Аппроксимация экспериментальных кривых изменения температуры внутреннего воздуха уравнениями

Тип системы вентиляции	Название функции	Уравнение функции	коэффициент детерминации $R^2$
смешивающая	экспоненциальная	$y = 23,128e^{0,0002x}$	$R^2 = 0,6064$
	линейная	$y = 0,0041x + 23,134$	$R^2 = 0,628$
	логарифмическая	$y = 0,8089\ln(x) + 19,993$	$R^2 = 0,8208$
	полиномиальная	$y = -7E-06x^2 + 0,0081x + 22,753$	$R^2 = 0,6658$
	степенная	$y = 20,211x^{0,0345}$	$R^2 = 0,8242$
вытесняющая	экспоненциальная	$y = 22,314e^{0,0001x}$	$R^2 = 0,3884$
	линейная	$y = 0,0023x + 22,329$	$R^2 = 0,4009$
	логарифмическая	$y = 0,5213\ln(x) + 20,197$	$R^2 = 0,7073$
	полиномиальная	$y = -8E-06x^2 + 0,0072x + 21,86$	$R^2 = 0,5195$
	степенная	$y = 20,261x^{0,0235}$	$R^2 = 0,7022$
персональная	экспоненциальная	$y = 22,891e^{8E-05x}$	$R^2 = 0,3598$
	линейная	$y = 0,0018x + 22,902$	$R^2 = 0,3754$
	логарифмическая	$y = 0,44\ln(x) + 21,061$	$R^2 = 0,7698$
	полиномиальная	$y = -9E-06x^2 + 0,0068x + 22,418$	$R^2 = 0,5681$
	степенная	$y = 21,094x^{0,0195}$	$R^2 = 0,7579$

По результатам, представленным в табл. 8, можно констатировать, что для описания изменения температуры внутреннего воздуха при работе вентиляционных систем подходят логарифмические и степенные функции (коэффициент детерминации идентичен): смешивающая система  $R^2=0,82$ , вытесняющая –  $R^2=0,7$ , персональная –  $R^2=0,76$ . Подобный характер изменения температуры внутреннего воздуха связан с ее резким ростом при включении вентиляционной системы и дальнейшей стабилизацией с постепенным прогревом внутренних ограждающих конструкций, т.е. происходит постепенное выравнивание значений температуры внутреннего воздуха и радиационной температуры помещения.

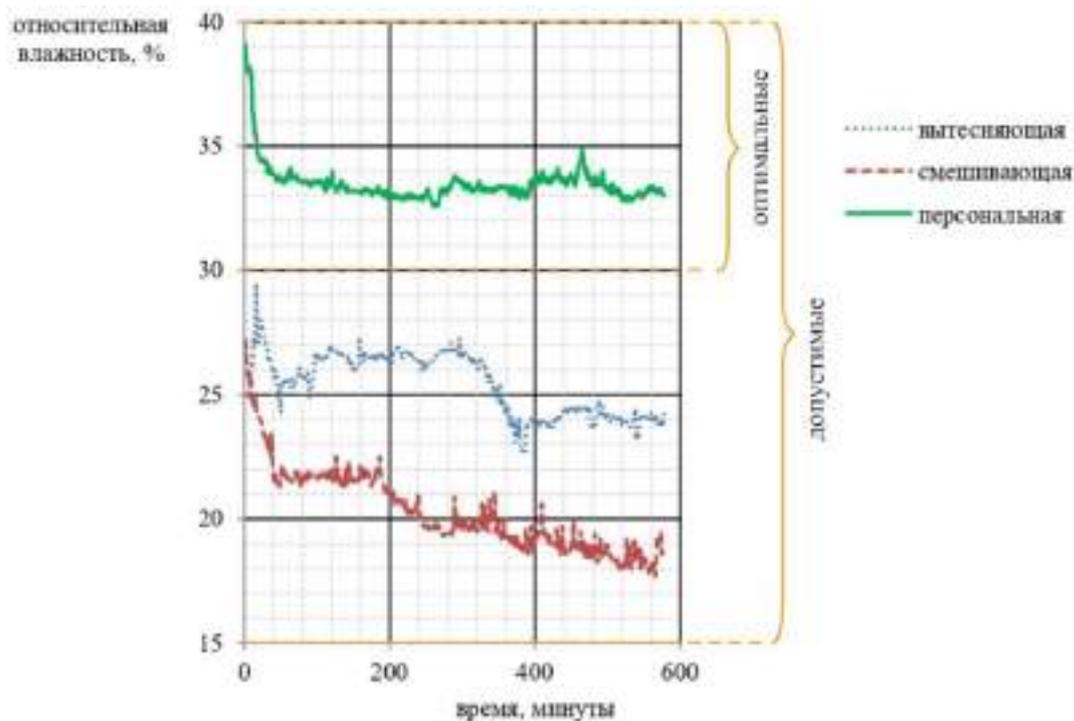


Рис. 9. Изменение относительной влажности

Таблица 9

Аппроксимация экспериментальных кривых изменения температуры внутреннего воздуха уравнениями

Тип системы вентиляции	Название функции	Уравнение функции	коэффициент детерминации $R^2$
смешивающая	экспоненциальная	$y = 22,932e^{-4E-04x}$	$R^2 = 0,8479$
	линейная	$y = -0,0091x + 22,879$	$R^2 = 0,8215$
	логарифмическая	$y = -1,604\ln(x) + 28,861$	$R^2 = 0,8865$
	полиномиальная	$y = 1E-05x^2 - 0,0175x + 23,69$	$R^2 = 0,8685$
	степенная	$y = 30,313x^{-0,076}$	$R^2 = 0,8657$
вытесняющая	экспоненциальная	$y = 27,122e^{-2E-04x}$	$R^2 = 0,5852$
	линейная	$y = -0,0057x + 27,087$	$R^2 = 0,5838$
	логарифмическая	$y = -0,744\ln(x) + 29,423$	$R^2 = 0,3389$
	полиномиальная	$y = -1E-05x^2 + 0,0007x + 26,464$	$R^2 = 0,6329$
	степенная	$y = 29,74x^{-0,029}$	$R^2 = 0,338$
персональная	экспоненциальная	$y = 33,918e^{-4E-05x}$	$R^2 = 0,1122$
	линейная	$y = -0,0015x + 33,942$	$R^2 = 0,1112$
	логарифмическая	$y = -0,536\ln(x) + 36,373$	$R^2 = 0,4573$
	полиномиальная	$y = 1E-05x^2 - 0,0095x + 34,708$	$R^2 = 0,3042$
	степенная	$y = 36,347x^{-0,015}$	$R^2 = 0,4565$

Из рис. 9 видно, что системы вытесняющей и смешивающей вентиляции обеспечивают допустимую относительную влажность воздуха (по ГОСТ 30494-2011,  $\phi \leq 60\%$ ), а система персональной вентиляции – оптимальную ( $30 \leq \phi \leq 45$ ).

Результаты аппроксимации, представленные в табл. 9 показывают, что для описания кривой изменения относительной влажности при смешивающей вентиляции подходят несколько различных функций, коэффициент детерминации составляет от 0,82 до 0,89. При работе систем вытесняющей и персональной вентиляции описать функцией с высоким  $R^2$  изменение относительной влажности в условиях проведенного эксперимента не представилось возможным.

Отметим, что при организации деятельности человека в помещении умственного труда (постоянное рабочее место, оборудованное ПЭВМ) целесообразно выбирать такое

схемное решение по вентиляции, которое наиболее полно будет удовлетворять комплексу требований, предъявляемых к системам [7]. При этом следует учитывать количество рабочих мест, их взаимное размещение, объемно-планировочную компоновку помещения и другие данные, предоставляемые Заказчиком в техническом задании на проектирование. Работа систем вентиляции должна быть «гибкой», адаптированной [8] к меняющимся внутренним и внешним условиям, создавать, по возможности, динамический микроклимат [9], благоприятно влияющий на самочувствие и работоспособность находящихся в помещении людей [10].

### **Заключение.**

В результате проведенного экспериментального исследования установлено, что для помещения умственного труда наиболее рациональными с точки зрения создания и точности поддержания параметров микроклимата являются системы вытесняющей и персональной вентиляции.

Расходы воздуха при организации различных систем вентиляции отличаются с учетом коэффициентов эффективности систем воздухораспределения. Это влияет на капитальные и эксплуатационные затраты на оборудование и материалы при реализации соответствующих систем.

Следует отметить важность выбора не только принципиальной схемы организации системы вентиляции, но и месторасположения воздухораспределительных устройств, их вида с учетом размещения рабочих мест, конфигурации помещения и других факторов, влияющих на движение и распределение воздуха в помещении.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Ливчак, В. И.** Сравнение российских и американских нормативов: сколько человеку нужно воздуха для комфорта / В. И. Ливчак // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2020. – № 6. – С. 20-27.
2. **Наумов, А. Л.** CO<sub>2</sub>: критерий эффективности систем вентиляции / А. Л. Наумов, Д. В. Капко // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2015. – № 1. – С. 12-21.
3. **Вытесняющая вентиляция в непроизводственных зданиях** / Х. Скистад [и др.] / пер. с англ. – 2-е изд., испр. – Москва: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 104 с.
4. **Капко, Д. В.** Персональная вентиляция. Время перейти от теории к практике! / Д. В. Капко, Р. В. Афанасьев // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2016. – № 5. – С. 18-23.
5. **Звенигородский И. И., Лобанов Д. В., Новосельцев Б. П.** Воздухораспределитель для подачи воздуха в зону дыхания человека, патент на полезную модель <sup>(19)</sup>RU<sup>(11)</sup>207364 <sup>(13)</sup>U1 (Российская Федерация), МПК F24F 13/06 патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». – № 2021111074; заявл. 19.04.2021; – опубл. 25.10.2021, Бюл. № 30. – 9 с.
6. Воздухораспределитель для подачи воздуха в зону дыхания человека при использовании системы персональной вентиляции / Д. В. Лобанов, И. И. Звенигородский, Б. П. Новосельцев, С. А. Сафонов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 2(25). – С. 47-55.
7. **Белова, Е. М.** Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях / Е. М. Белова. – Москва: Евроклимат, 2006. – 640 с.
8. Разработка адаптивной вентиляции многофункциональных помещений больших объемов общественных зданий / В. В. Шичкин, М. Н. Жерлыкина, С. А. Яременко,

С. А. Соловьев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 4(19). – С. 19-29.

9. **Ловцов, В. В.** Системы кондиционирования динамического микроклимата помещений / В. В. Ловцов, Ю. Н. Хомуцкий. – Москва: Стройиздат, 1991. – 150 с.

10. **Андряшкин, О. О.** Сравнение технико-экономических показателей локальных устройств для очистки приточного воздуха / О. О. Андряшкин, О. А. Жданова, М. С. Кононова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 1(4). – С. 104-110.

*Поступила в редакцию 4 февраля 2024*

## CHANGES IN THE AIR PARAMETERS IN THE MENTAL WORK ROOM DURING THE OPERATION OF VARIOUS VENTILATION SYSTEMS SCHEMES

**D. V. Lobanov, I. I. Zvenigorodsky, S. A. Safonov**

---

Dmitry Valeryevich Lobanov, Senior Lecturer, Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(903)651-33-43; e-mail: LDV-36@mail.ru

Igor Ivanovich Zvenigorodskiy, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department, Air Force Academy named after N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)244-76-45; e-mail: zvendocent@mail.ru

Sergey Aleksandrovich Safonov, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Professor of the Department, Air Force Academy named after N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)244-76-45; e-mail: vgasu.gkh@gmail.com

---

We carried out a series of experimental studies of the operation of various ventilation systems in mental work areas. In this article we consider systems of mixing, displacement and personal ventilation. First, we measured indoor air parameters: air temperature, relative humidity, carbon dioxide concentration. Then we compared the compliance of the microclimate parameters provided by ventilation systems with the standardized values. Then we approximated the curves of changes in internal air parameters over time by functions with the highest coefficient of determination. It was revealed that displacement and personal ventilation systems are most effective in creating and ensuring standardized parameters of the air environment under the conditions of the experiment. Finally we present recommendations for organizing ventilation systems in mental work areas in order to ensure comfortable microclimate parameters.

**Keywords:** microclimate; ventilation schemes; mixing ventilation; displacement ventilation; personal ventilation; human breathing zone; ventilation efficiency.

### REFERENCES

1. **Livchak, V. I.** *Comparison of Russian and American standards: how much air a person needs for comfort.* АВОК: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and building thermal physics. 2020. No. 6. Pp. 20-27. (in Russian)

2. **Naumov A. L., Kapko D. V.** *CO<sub>2</sub>: criterion for the effectiveness of ventilation systems.* АВОК: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and building thermal physics. 2015. No. 1. Pp. 12-21. (in Russian)

3. **Skistad H.** *Displacement ventilation in non-industrial buildings.* trans. from English. 2nd ed., rev. Moscow, AVOK-PRESS. 2006. 104 p. (in Russian)

4. **Kapko, D. V., Afanasiev R. V.** *Personal Ventilation. Time to go from theory to practice!* АВОК. 2016. No. 5. Pp. 18-23. (in Russian)

5. **Zvenigorodsky I. I., Lobanov D. V., Novoseltsev B. P.** *Air distributor for air supply to human breathing zone, utility model patent* <sup>(19)</sup>RU<sup>(11)</sup>207 364 <sup>(13)</sup>U1 (Russian Federation), IPC

F24F 13/06 patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Technical University». No. 2021111074; Appl. 19.04.2021; publ. 25.10.2021, bull. No. 30. 9 p. (in Russian)

6. **Lobanov D. V., Zvenigorodsky I. I., Novoseltsev B. P., Safonov S. A.** *Air distributor for supplying air to the human breathing zone when using a personal ventilation system.* Housing and communal infrastructure. 2023. No. 2(25). Pp. 47-55. (in Russian);

7. **Belova, E. M.** *Central air conditioning systems in buildings.* Euroclimate. 2006. 640 p. (in Russian)

8. **Shichkin V.V., Zherlykina M.N., Yaremenko S.A., Solovyov S.A.** *Development of adaptive ventilation for multifunctional premises of large volumes of public buildings.* Housing and communal infrastructure. 2021. No. 4(19). Pp. 19-29. (in Russian)

9. **Lovtsov V. V., Khomutetsky Y. N.** *Air conditioning systems dynamic microclimate of the premises.* Moscow, Stroyizdat. 1991. 150 p. (in Russian)

10. **Andriyashkin O. O., Zhdanova O. A., Kononova M. S.** *The comparison of technical and economic parameters of local devices for clearing of inlet air.* Housing and utilities infrastructure. 2018. No. 1(4). Pp. 104-110. (in Russian)

*Received 4 February 2024*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Лобанов, Д. В.** Изменение параметров воздушной среды в помещении умственного труда при работе различных схем систем вентиляции / Д. В. Лобанов, И. И. Звенигородский, С. А. Сафонов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 1(28). – С. 37-48. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.004.

**FOR CITATION:**

**Lobanov D. V., Zvenigorodsky I. I., Safonov S. A.** *Changes in the air parameters in the mental work room during the operation of various ventilation systems schemes.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 37-48. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.004. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.005

УДК 621.182.3

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОТЛА НА НЕРАСЧЕТНОМ ТОПЛИВЕ****Д. Н. Китаев, З. С. Гасанов, А. Н. Иевлев**

Китаев Дмитрий Николаевич, канд. техн. наук., доцент кафедры теплогасоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(906)671-02-84; e-mail: dim.kit@rambler.ru

Гасанов Зугум Сагидович, канд. техн. наук., доцент кафедры теплогасоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(920)423-53-76; e-mail: zgasanov@cchgeu.ru

Иевлев Александр Николаевич, магистрант кафедры теплогасоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(960)111-38-24; e-mail: eievleva@cchgeu.ru

При эксплуатации котельных установок встречаются случаи применения нерасчетных видов топлива, в частности угля со свойствами, отличающимися от проектных значений. В статье рассматривается вопрос моделирования технико-экономических показателей парового котла при изменении элементарного состава твердого топлива. На основе расчета теплового баланса выявлены величины, значительно влияющие на характеристики котла. Для конкретной модели котла получены аналитические зависимости расхода топлива, энтальпий продуктов сгорания и коэффициента полезного действия брутто при изменении элементарного состава сжигаемого угля.

**Ключевые слова:** теплогенератор; нерасчетное топливо; состав топлива; тепловой баланс; расход топлива; коэффициент полезного действия.

В практике эксплуатации котельных установок встречаются случаи необходимости работы на нерасчетных видах топлива, свойства которого не учитывались при проектировании теплогенераторов [1, 2]. Подобная ситуация может быть связана с изменением поставки топлива, добываемого в другом месте, заключением договоров с новыми организациями, использованием топлива со склада. Особенно актуальны потери энергетической ценности угля для потребителей арктической зоны, когда из-за особенностей логистики время от добычи партии угля до его использования может составлять от 6 до 30 месяцев [3, 4]. Как известно, уголь при хранении теряет свою энергетическую ценность, по этой причине время его пребывания на складе ограничивают. В зависимости от класса угля и его свойств максимальный срок хранения на резервном складе может составлять от 6 до 36 месяцев. Свойства топлива оказывают значительное влияние на технико-экономические показатели котельных установок, в частности на коэффициент полезного действия и расход топлива. Актуальным является исследование влияния элементарного состава топлив на характеристики котла и получение зависимостей, позволяющих рассчитать их значения [7, 8].

Проектирование теплогенерирующих установок является сложной инженерной задачей [5, 6]. Расчет любого теплогенератора начинается с расчета состава продуктов сгорания топлива при заданном значении коэффициента избытка воздуха в топочном объеме [9, 10]. По ходу движения продуктов сгорания топлива по газовому тракту котла, вследствие присосов воздуха, увеличивается значение коэффициента избытка воздуха, которое сильно влияет на состав и объем дымовых газов.

Одной из самых сложных задач при проведении расчета котла является определение теплоты, отданной газами в топке. Во-первых, крайне сложно построить математическую модель процесса, а во-вторых, получить ее решение. Тепловой расчет проводят методом

последовательных приближений, добиваясь с определенной погрешностью равенства принятой в первом приближении температуры и полученной по формулам теплопередачи. Без применения ЭВМ с большой степенью точностью такую задачу решить невозможно [11].

В таблице представлены характеристики топлива, предполагаемого для использования в паровом котле типа КЕ 6,5-14. Характеристики топлива принимались по нормативному методу теплового расчета ТГУ.

Характеристика выборки топлива, %

Обозначение	Бассейн, месторождение	марка	Класс	$C^p$	$S_{л}^p$	$H^p$	$O^p$	$N^p$	$W^p$	$A^p$	$Q_n^p$ , ккал/кг
Топливо 1	Кизеловский бассейн	Г	Р, МСШ	41,5	4,3	3,2	5,1	0,5	7,5	37,9	4082,9
Топливо 2	Ургадьское	Г	Р	46,6	0,4	3,4	7,7	0,8	10	31,1	4361,2
Топливо 3	Черногорское	Д	Р, СШ, МСШ	49,7	0,5	3,3	9,7	1,3	14	21,5	4514,3
Топливо 4	Южный Сахалин	Д	Р, СШ	49,4	0,6	3,8	10,4	1,1	11	23,7	4615,4
Топливо 5	Партизанский бассейн	Г	Р, СШ	49,8	0,4	3,2	6,3	0,8	5,5	34	4634,6
Топливо 6	Кузнецкий бассейн	Д	Р, СШ	56,4	0,4	4	9,9	1,9	11,5	15,9	5236,4
Топливо 7	Кузнецкий бассейн	1СС	Р, СШ	60,8	0,4	3,6	6,5	1,5	9	18,2	5597,8
Топливо 8	Каахемское	Г	Р	65	0,4	4,8	9,5	1	5	14,3	6179,2
Топливо 9	Кузнецкий бассейн	Т	Р, СШ	70,2	0,5	3	3	1,7	7	14,6	6317,2

В соответствии с нормативным методом теплового расчета, был определен тепловой баланс котла, КПД котла брутто  $\eta_{ка}^{бр}$ , расход топлива с учетом потерь теплоты с механическим недожогом  $B_p$  [12, 13]. На рис. 1 представлены результаты расчетов энтальпии уходящих газов  $I_{ух}$  и расхода топлива  $B_p$ , а на рис. 2 – потерь теплоты с уходящими газами  $q_2$  и КПД котла брутто при работе на топливе различного состава.

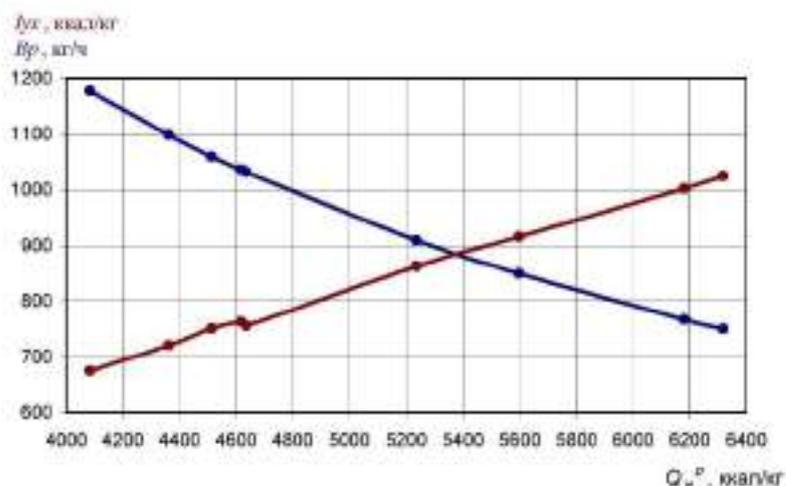


Рис. 1. Зависимость энтальпии уходящих газов и расхода топлива от теплотворной способности

Из рис. 1 следует, что наблюдается тенденция снижения расхода топлива при увели-

чении теплотворной способности и увеличения энтальпии уходящих газов. В одной точке (для топлива 5) происходит незначительное снижение энтальпии, но последующие значения увеличиваются. Расчеты показали также, что при увеличении теплотворной способности топлива незначительно увеличивается коэффициент сохранения теплоты  $\varphi$  (на 0,036 %).

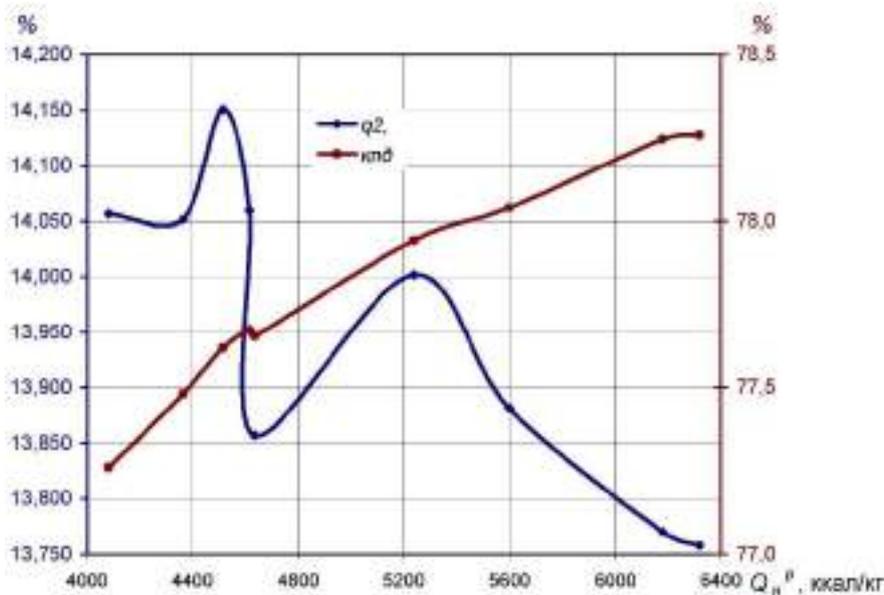


Рис. 2. Зависимость потерь теплоты с уходящими газами и КПД от теплотворной способности

Из рис. 2 следует, что с увеличением теплотворной способности топлива наблюдается общая тенденция роста КПД брутто котла, но в точке 5 значение меньше, чем в точке 4. Снижение значения КПД незначительно и составляет всего 0,018 %. Потери теплоты с уходящими газами в точке 5 снижаются на величину 0,202 %, также уменьшается значение энтальпии газов. Анализируя данные состава топлива (таблица) можно заметить, что у топлива № 5 зольность больше на 10,3 % по сравнению с топливом № 4, что является существенным. В результате потери с теплотой шлака  $q_6$  у топлива № 5 больше, чем у топлива № 4 на 0,2209 %, что сказывается на снижении КПД.

Неоднозначная ситуация наблюдается по потерям с уходящими газами  $q_2$ . Как видно из рис. 2, точки 3, 4, 5 не вписываются в общую тенденцию снижения потерь с ростом теплоты сгорания топлива.

На рис. 3 представлен процентный состав углерода и золы в рабочей массе рассматриваемого топлива, а на рис. 4 влаги, кислорода, водорода, серы, азота.

Анализируя «аномалию» изменения потерь с уходящими газами для топлив 3, 4, 5 можно сказать следующее. Из рис. 4 видно, что в топливе №3 наибольшее содержание влаги по сравнению с другими, и оно составляет 14 % рабочей массы топлива. У топлива № 2 содержание влаги 10 % (на 4 % меньше), а у топлива № 4 – 11 % (на 3 % меньше). Для рассматриваемых видов топлива значение влажности сильно колеблется от 5 % в топливе № 8 до 14 % в топливе № 3. Как известно, влажность значительно влияет на процесс горения и его экономичность. При увеличении влажности будет возрастать объем водяных паров, что способствует повышению объема дымовых газов. На рис. 5 представлены рассчитанные значения удельных объемов дымовых газов в рассматриваемых сортах топлива.

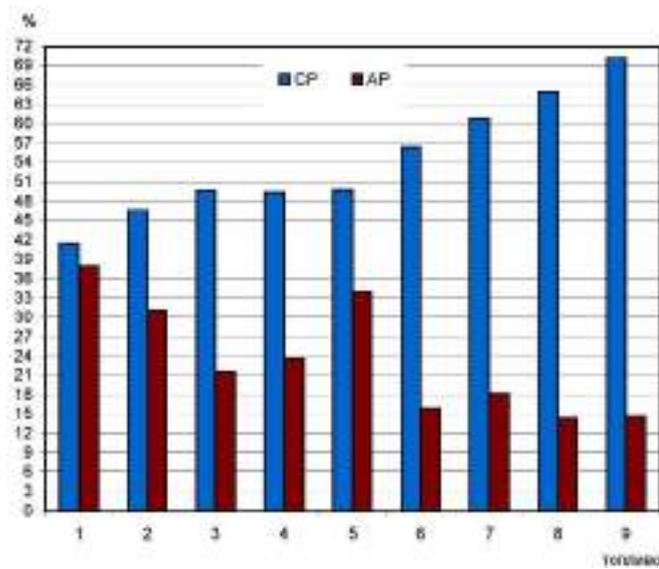


Рис. 3. Содержание углерода и золы

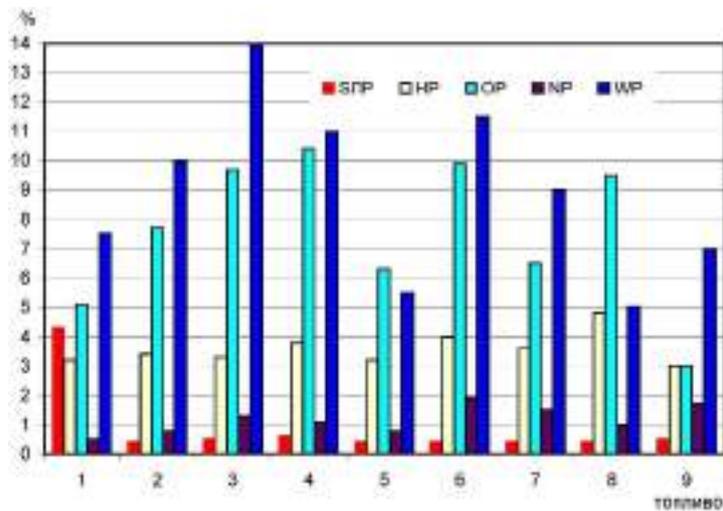


Рис. 4. Содержание влаги, кислорода, водорода, серы, азота

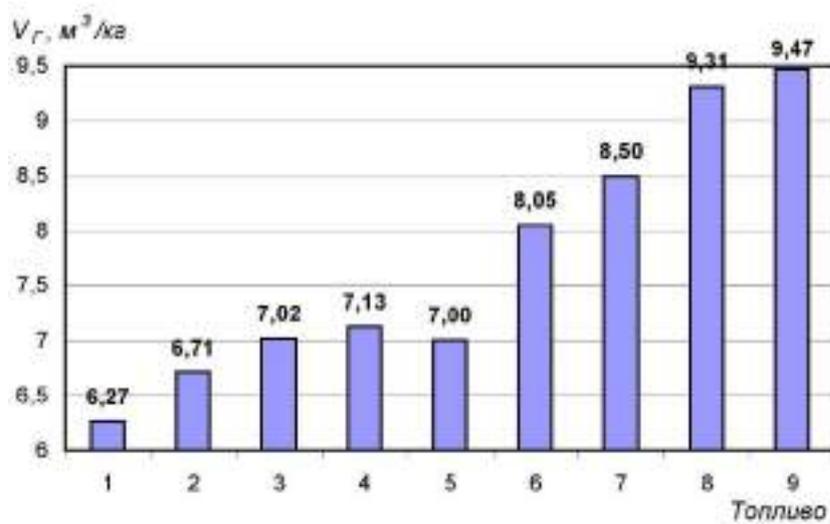


Рис. 5. Значения удельных объемов дымовых газов

Рис. 5 наглядно демонстрирует общую тенденцию увеличения объемов дымовых газов с увеличением теплотворной способности топлива, определяемой в первую очередь

содержанием углерода (топливо расположено по возрастанию теплотворной способности). Для топлива № 5 происходит незначительное снижение объема газов. Как видно из таблицы, теплотворная способность топлива № 4 и 5 отличается всего на 19,2 ккал/кг, при этом содержание водяных паров в топливе № 5 в 2 раза меньше, а водорода на 0,6 %. Следствием малого значения влажности и содержания водорода является более низкое наличие водяных паров в топливе №5 0,5297 м<sup>3</sup>/кг (у топлива №4 0,6644 м<sup>3</sup>/кг). В итоге общий объем газов несколько меньше.

Анализируя формулу расчета объема водяных паров  $V_{H_2O}$  при коэффициенте избытка воздуха больше 1 ( $\alpha > 1$ ), образующихся при сжигании топлива и имеющей вид

$$V_{H_2O} = 0,111H^P + 0,0124W^P + 0,0161\alpha V^0, \quad (1)$$

а также результаты их расчета (значения каждого из слагаемых), можно сделать вывод о преобладающем влиянии водорода на образование водяных паров. Наибольшее значение имеет слагаемое  $0,111H^P$  по сравнению с другими в формуле (1). Как показали расчеты у топлив 3, 4, 5 содержание углерода практически одинаково (отличие составляет десятые доли процента). Наибольшее количество водяных паров 0,6644 м<sup>3</sup>/кг образуется в топливе 4 с наибольшим содержанием водорода 3,8 %, и значением влаги 11 %. Топливо 4 имеет наибольшее значение удельного объема газов 7,128 м<sup>3</sup>/кг. Не смотря на то, что в топливе 3 максимальное содержание влаги 14 %, объем водяных паров в нем меньше чем в топливе с содержанием влаги 11 % по причине меньшего содержания водорода (3,3 %).

Основная величина, влияющая на потери теплоты с уходящими газами это энтальпия. На рис.6 представлены результаты расчетов энтальпий продуктов сгорания с учетом их объема при температуре 100 °С. Из рис.6 следует, что наибольший вклад в значение энтальпии газов вносит содержание азота, затем воздуха, углекислого газа, водяных паров и золы, а наименьший – золы 0,48 % и водяных паров 7,94 %. Энтальпия азота является определяющей в дымовых газах. Для рассматриваемых видов топлива 2...5 среднее значение составляет 61 % от общего объема газов.

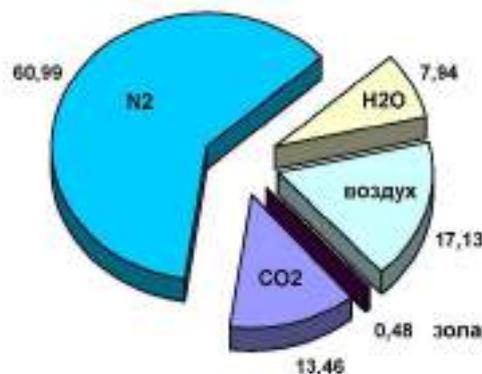


Рис. 6. Процентное значение энтальпий компонентов дымовых газов

Причиной снижения энтальпии дымовых газов для топлива 5 по сравнению с топливом 4, является снижение значения энтальпии водяных паров. В топливе 5 по сравнению с топливом 4 снижается содержание водорода на 0,6 % и влаги на 5,5 %. По причине увеличения в топливе 5 по сравнению с топливом 4 значения содержания углерода на 0,4 %, уменьшения значения серы на 0,2 %, кислорода на 4,1%, влаги на 5,5 %, увеличивается теплотворная способность топлива. В результате значение  $q_2$  топлива 5 получается меньше, чем у топлива 4. Для топлива 6 по сравнению с топливом 5 содержание водорода увеличивается на 0,8 %, влаги на 6 %, азота на 1,1 %, что обуславливает увеличение потерь  $q_2$ .

Подобным образом можно объяснить максимальные потери с уходящими газами для

топлива 3. По сравнению с топливом 2 в топливе 3 увеличивается содержание азота на 0,5 %, влаги на 4 %, значение энтальпии газов увеличивается на 11,6 ккал/кг. Увеличение доли кислорода на 2 %, увеличение серы на 0,1 %, увеличение влажности на 4 %, уменьшение водорода на 1 % обуславливает незначительный рост теплотворной способности топлива 3. В результате у топлива 3 наблюдаются максимальные потери теплоты с уходящими газами.

Увеличение теплотворной способности топлива не всегда ведет к увеличению КПД котла. В рассмотренном примере увеличение теплотворной способности топлива 5, связанное, прежде всего, с увеличением содержания углерода на 0,4 %, приводит к снижению КПД котла на 0,018 %. Причиной является увеличение содержания золы на 11,3 % и увеличение потерь с теплотой шлака на 0,221 %.

Для рассматриваемого котла при коэффициенте избытка воздуха в топке 1,3 получены уравнения зависимости расхода топлива  $B_p$  (среднее значение относительной погрешности 0,217 %), энтальпии уходящих газов  $I_{yx}$  при температуре 185 °С и коэффициенте избытка воздуха 1,7 (среднее значение относительной погрешности 0,295 %), и КПД  $\eta_{ка}^{бр}$  (среднее значение относительной погрешности 0,027 %):

$$B_p = 386,12 \cdot 10^{-7} (Q_n^p)^2 - 589,56 \cdot 10^{-3} Q_n^p + 2936,3, \text{ кг/ч}, \quad (2)$$

$$I_{yx} = -37,0942 \cdot 10^{-7} (Q_n^p)^2 + 194,545 \cdot 10^{-3} Q_n^p - 56,9557, \text{ ккал/кг}, \quad (3)$$

$$\eta_{ка}^{бр} = -131,18 \cdot 10^{-9} (Q_n^p)^2 + 179,25 \cdot 10^{-5} Q_n^p + 72,163, \text{ \%}. \quad (4)$$

### Заключение.

Выявлена общая тенденция увеличения объемов дымовых газов с увеличением теплотворной способности топлива, определяемой в первую очередь содержанием углерода.

В результате расчетов установлено влияние увеличения теплотворной способности топлива на основные теплоэнергетические показатели работы котельного оборудования. В рассмотренных примерах теплотворная способность увеличивается на 35,37 %, при этом КПД увеличивается на 1,28 %, потери теплоты с уходящими газами уменьшаются на 2,17 %, а расход топлива уменьшается на 36,2 %.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Савина, М. В.** Оценка эффективности парового котла типа КЕ при сжигании низкосортного топлива / М. В. Савина, Э. Т. Ндлову, Г. Р. Мингалеева // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Т. 12. – № 1(45). – С. 3-12.

2. **Бабенко, Г. С.** Слоеое сжигание низкосортных углей с высоким влагосодержанием в механизированных топках водогрейных котлов малой мощности / Г. С. Бабенко, Г. А. Захаров, В. Н. Сопова, К. В. Цыганкова // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2017. – № 4(33). – С. 44-55.

3. **Захаров, В. Е.** Потери энергетической ценности рядового угля при доставке до арктических потребителей республики Саха (Якутия) / В. Е. Захаров, Д. В. Прохоров, В. Л. Гаврилов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2013. – № 5-6. – С. 13-22.

4. **Федоров, В. И.** Оценка изменения гранулометрического состава низкометаморфизированных углей при длительном хранении / В. И. Федоров, В. Л. Гаврилов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 12-1. – С. 223-232.

5. **Семенов, С. А.** Математическое моделирование состава твердых топлив на энергетическую эффективность котлов / С. А. Семенов, Д. Ю. Куриганов // Системы. Методы. Технологии. – 2012. – № 4(16). – С. 74-78.

6. **Плаксина, Е. В.** Аналитический расчет конвективных поверхностей котла / Е. В. Плаксина, Р. А. Кумаков, Е. Л. Дьяконенко // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2023. – № 1(30). – С. 24 - 28.

7. **Слободина, Е. Н.** Влияние расчетных характеристик твердого органического топлива на температуру предварительного подогрева воздуха в энергетических котлах / Е. Н. Слободина, А. В. Васильев, А. Г. Михайлов, И.А. Степашкин // Вестник КРСУ. – 2020. – Т. 20. – № 12. – С. 100-106.

8. **Бабенко, Г. С.** Повышение энергетической эффективности механизированных котлов малой мощности при работе на низкосортных бурых углях / Г. С. Бабенко, Г. А. Захаров, К. В. Цыганкова // Современные технологии и развитие политехнического образования: сб. тр. конф. Владивосток, 19...23 сентября 2016. Владивосток: Дальневост. федеральн. ун-т – 2016. – С. 439-445.

9. Использование цифровых технологий в тепловом расчете теплогенерирующих установок / Д. Н. Китаев, А. Т. Курносов, А. В. Черемисин, З. С. Гасанов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2020. – Т. 2. – № 1(39). – С. 114-118.

10. Имитационный динамический тренажер для отработки процессов в топочных устройствах паровых котлов / Е. А. Бойко, С. В. Пачковский, В. Н. Вольнев, Д. В. Сургутский // Теплоэнергетика. – 2022. – № 4. – С. 81-92.

11. **Аристов, Д. М.** Повышение точности расчета коэффициента полезного действия котлоагрегата / Д. М. Аристов, Ф. Н. Кондратов, Т. О. Ястребов // Сборник трудов IX Всероссийской научно-технической конференции молодых исследователей «Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности». – Волгоград ВГТУ. – 2022. – С. 262-264.

12. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки. Расчет характеристик продуктов сгорания топлив ТГУ / Д. Н. Китаев, А. Т. Курносов. – №9252 от 03.10.2007 г. дата выдачи 12.11.2007г. Отраслевой фонд алгоритмов и программ.

13. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Тепловой расчет парового котла / Д. Н. Китаев, А. Н. Иевлев, Е. В. Иевлева. 2023617224, 06.04.2023. Заявка №2023616239 от 28.03.2023.

*Поступила в редакцию 6 февраля 2024*

## **SIMULATION OF BOILER OPERATION WITH OFF-DESIGN FUEL**

**D. N. Kitaev, Z. S. Gasanov, A. N. Ievlev**

---

Dmitry Nikolaevich Kitaev, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(906)671-02-84; e-mail: dim.kit@rambler.ru

Zugum Sagidovich Gasanov, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(920)423-53-76; e-mail: zgasanov@cchgeu.ru

Alexander Nikolaevich Ievlev, master student at the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(960)111-38-24; e-mail: eievleva@cchgeu.ru

---

When operating boiler plants, there are cases of using off-design fuels, in particular coal with properties that differ from the design values. The article discusses the issue of modeling the technical and economic indicators of a steam boiler when the elemental composition of solid fuel changes. Based on the calculation of the heat balance, we identified quantities that sig-

nificantly affect the characteristics of the boiler. We obtained analytical dependences of fuel consumption, enthalpies of combustion products and gross efficiency with changes in the elemental composition of burned coal for a specific boiler model.

**Keywords:** heat generator; off-design fuel; fuel composition; heat balance; fuel consumption; efficiency.

## REFERENCES

1. **Savina M. V., Ndlovu E. T., Mingaleeva G. R.** *Evaluating the efficiency of a KE type steam boiler when burning low-grade fuel.* Bulletin of the Kazan State Energy University. 2020. V. 12. No. 1(45). Pp. 3-12. (in Russian)
2. **Babenko G. S., Zakharov G. A., Sopova V. N., Tsygankova K. V.** *Layered combustion of low-grade coals with high moisture content in mechanized furnaces of low-power hot water boilers.* Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University. 2017. No. 4(33). Pp. 44-55. (in Russian)
3. **Zakharov V. E., Prokhorov D. V., Gavrilov V. L.** *Loss of energy value of raw coal during delivery to Arctic consumers of the Republic of Sakha (Yakutia).* News of higher educational institutions. Energy problems. 2013. No. 5-6. Pp. 13-22. (in Russian)
4. **Fedorov V. I., Gavrilov V. L.** *Assessment of changes in the granulometric composition of low-metamorphosed coals during long-term storage.* Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2021. No. 12-1. Pp. 223-232. (in Russian)
5. **Semenov S. A., Kuriganov D. Yu.** *Mathematical modeling of the composition of solid fuels for the energy efficiency of boilers.* Systems. Methods. Technologies. 2012. No. 4(16). Pp. 74-78. (in Russian)
6. **Plaksina E. V., Kumakov R. A., Dyakonenko E. L.** *Analytical calculation of convective surfaces of the boiler.* Urban planning. Infrastructure. Communications. 2023. No. 1(30). Pp. 24-28. (in Russian)
7. **Slobodina E. N., Vasiliev A. V., Mikhailov A. G., Stepashkin I. A.** *The influence of the calculated characteristics of solid organic fuel on the temperature of air preheating in power boilers.* Bulletin of KRSU. 2020. T. 20. No. 12. Pp. 100-106. (in Russian)
8. **Babenko G. S., Zakharov G. A., Tsygankova K. V.** *Increasing the energy efficiency of low-power mechanized boilers when operating on low-grade brown coals.* Modern technologies and development of polytechnic education: collection. tr. conf. Vladivostok, September 19–23, 2016. Vladivostok, Dalnevost. federal Univ. 2016. Pp. 439-445. (in Russian)
9. **Kitaev D. N., Kurnosov A. T., Cheremisin A. V., Hasanov Z. S.** *The use of digital technologies in thermal calculations of heat-generating installations.* Scientific journal. Engineering systems and structures. 2020. T. 2 No. 1(39). Pp. 114-118. (in Russian)
10. **Boyko E. A., Pachkovsky S. V., Volnev V. N., Surgutsky D. V.** *Simulation dynamic simulator for testing processes in combustion devices of steam boilers.* Thermal power engineering. 2022. No. 4. Pp. 81-92. (in Russian)
11. **Aristov D. M., Kondratov F. N., Yastrebov T. O.** *Increasing the accuracy of calculating the efficiency of a boiler unit.* Collection of proceedings of the IX All-Russian Scientific and Technical Conference of Young Researchers “Current problems of construction, housing and communal services and technosphere safety”. Volgograd VSTU. 2022. Pp. 262-264. (in Russian)
12. **Kitaev D. N., Kurnosov A. T.** Certificate of industry registration of the development. Calculation of characteristics of combustion products of TSU fuels. No. 9252 dated October 3, 2007. date of issue: November 12, 2007 Industry fund of algorithms and programs. (in Russian)
13. **Kitaev D. N., Ievlev A. N., Ievleva E. V.** Certificate of registration of a computer program. Thermal calculation of a steam boiler / 2023617224, 04/06/2023. Application No. 2023616239 dated 03/28/2023. (in Russian)

*Received 6 February 2024*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Китаев, Д. Н.** Моделирование работы котла на нерасчетном топливе / Д. Н. Китаев, З. С. Гасанов, А. Н. Иевлев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 1(28). – С. 49-57. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.005.

**FOR CITATION:**

**Kitaev D. N., Gasanov Z. S., Ievlev A. N.** *Simulation of boiler operation with off-design fuel.* 2024. Housing and utilities infrastructure. No. 1(28). Pp. 49-57. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.005. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.006

УДК 628.3:675.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПОСЛЕ ЗОЛЕНИЯ В ДВУХСТУПЕНЧАТОМ АЭРОТЕНКЕ НА ПРИМЕРЕ КОЖЕВЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ МАЛИ (МАТ) В БАМАКО (МАЛИ)

Д. Лассана, В. Н. Саинова

Лассана Диоп, аспирант, кафедра безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань, Российская Федерация, тел: +7(8512)614-498; e-mail: lassanakarifo@gmail.com

Саинова Виктория Николаевна, канд. техн. наук, доцент, заведующая кафедрой безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань, Российская Федерация, тел: +7(8512)614-498; e-mail: sainovav@yandex.ru

Характеристики сточных вод разных кожевенных заводов варьируются в зависимости от технологических процессов, химикатов и типов используемых шкур. Объектом нашего исследования служили сточные воды, образующиеся на этапах предварительного дубления. Они имеют сложный состав, содержат как органические, так и неорганические загрязнители в высоких концентрациях и могут нанести ущерб окружающей среде. Для глубокой очистки этих вод от примесей применяли биологическую очистку в аэробных условиях в двухступенчатом аэротенке. Результаты эксперимента показывают эффективность очистки 88,77 % по БПК<sub>5</sub>, 83,53 % по ХПК, 98,59 % по фосфат-ионам и 88,53 % по общему азоту при начальной концентрации субстрата 800 мг/л, выраженной в БПК<sub>5</sub>. Эти значения были получены при дозе ила – 3,5 г/л, времени аэрации – 6 часов в течение 7 дней. Результаты экспериментальных исследований показывают, что используемая технология представляет собой экологически жизнеспособную альтернативу традиционным методам с использованием потенциально токсичных химических реагентов при очистке сточных вод на этом этапе.

**Ключевые слова:** сточные воды; кожевенный заводы; предварительное дубление; аэротенк; активный ил; ХПК; БПК<sub>5</sub>; азот; фосфат.

Кожевенная промышленность является одной из наиболее распространенных отраслей легкой промышленности в мире, и ее готовая продукция (кожа) с высокой добавленной стоимостью продолжает испытывать высокий спрос в секторе производства изделий повседневного использования, таких как обувь, сумки, одежда, мебель, транспортные средства и т.д. Кожевенное производство образует значительные количества твердых отходов и сточных вод [1]. Это часть самого водоемкого промышленного сектора (более 40 млн м<sup>3</sup>/год в Италии) [2].

Вода используется на протяжении всего технологического процесса обработки и переработки шкур в кожу. На килограмм обработанной кожи расходуется примерно 35...40 литров воды [3]. Потребление воды варьируется от одного технологического процесса к другому. Наиболее высокое водопотребление требуется на технологических стадиях отмочания и золения, количество используемой там воды составляет примерно 70 % от количества воды, необходимой для переработки шкур в кожу [4].

Основной экологической проблемой, стоящей перед кожевенным сектором, является глубокая очистка сточных вод. Они содержат опасные химические вещества, такие как тяжелые металлы, органические растворители и химикаты, используемые в процессе обработки и переработки шкур в кожу. Также могут присутствовать патогены, такие как

бактерии, вирусы и паразиты. Их прямой выброс в окружающую среду может привести к загрязнению воды, почвы и окружающих экосистем.

Характеристики стоков кожевенных заводов сильно различаются от одного кожевенного завода к другому в зависимости от производственной мощности, реагентов, используемых для конкретного процесса, количества используемой воды и типа конечного продукта, производимого кожевенным заводом [5].

Для производства кожи из кожсырья необходимо несколько технологических процессов, а именно: Предварительная обработка (предварительное дубление), дубление и отделка [4]. Предварительное дубление состоит из ряда операций (закаливания, эншауценажа и обезволашивания-пилинга), направленных на устранение эпидермиса, волос и жировых тканей, а также очистку шкурок с целью улучшения проникновения дубильных веществ.

На этом этапе предварительного дубления используются различные химические вещества, в том числе: гидроксид натрия, гипохлорит натрия, дихромат калия, известь, хлориды, серная кислота, муравьиная кислота, ПАВ, сульфид натрия, соли натрия и аммония и др. [6]. Таким образом, эти использованные продукты попадают в сточные воды [7], что делает их насыщенными примесями как минерального происхождения (сульфиды, сульфат-ионы и хлориды и т. д.), так и органического (декантируемые материалы: волосы, остатки эпидермиса и растворенные: коллоиды, образованные остатками белков и жиров).

Попадание сульфидов в окружающую среду из сточных вод представляет серьезную экологическую угрозу из-за их раздражающего действия на слизистые оболочки и дыхательные пути, а также другого сопутствующего воздействия на биологическую среду. Вредное воздействие органических примесей на водоемы и прилегающие территории весьма разнообразно и оценивается, в частности, по химическому и биологическому потреблению кислорода. Их присутствие в водоемах приводит к дефициту кислорода, необходимого для существования обитающих там живых организмов и растений. Для того, чтобы окружающая среда была свободна от этих загрязнителей, необходима глубокая очистка образующихся сточных вод.

Для устранения загрязнений из такой воды наиболее часто используются методы, основанные на использовании реагентов. Однако сами реагенты потенциально токсичные и вредные, они могут попасть в очищенную воду, что представляет опасность для окружающей среды и здоровья человека [8]. Следовательно, необходимость разработки эффективной технологии, не использующей реагенты, имеет важное значение для минимизации воздействия этой отрасли на окружающую среду.

Биологическая очистка в аэробных условиях представляет собой альтернативу химическим методам очистки сточных вод кожевенных заводов. Суть биологической очистки сточных вод заключается в удалении дисперсных и растворенных органических веществ с помощью различных видов микроорганизмов. Чаще всего их биохимическое окисление происходит в естественных или искусственно созданных условиях. В первом случае для этого используются грунты, проточные и бессточные водоемы (реки, озера, лагуны и т.п.), во втором – специально построенные сооружения для очистки (биофильтры, аэротенки и другие сооружения-окислители различных модификаций) [9].

Обработка активным илом зарекомендовала себя при очистке сточных вод кожевенных заводов, что подтверждено рядом исследователей. Исследования, проведенные Ахмед М и др. (2014), Фаузи и др. (2013) и Дохаре Д. и Кавале М. (2014) доказали, что использование активного ила может значительно снизить биохимическую потребность в кислороде (БПК) и химическую потребность в кислороде (ХПК) сточных вод кожевенных заводов, а также другие параметры загрязнения, такие как общее количество азота, фосфора и т. д. Кроме того, некоторые предыдущие исследования также подчеркнули важность мониторинга и корректировки рабочих параметров очистных сооружений для обеспечения максимальной эффективности. Например, рН, температура, концентрация пита-

тельных веществ и аэрация должны регулярно контролироваться и корректироваться для оптимизации процесса очистки.

Целью данного исследования является содействие устойчивому и экологически чистому подходу в области кожевенного производства посредством биологической очистки в аэробных условиях этих сточных вод.

В процессе исследований на кожевенном заводе (ИМАТ) было проведено пять серий по отбору проб (по одному образцу в день) на выходе из накопительного бассейна, куда направляются все сточные воды, образующиеся на этапе предварительного дубления. Пробы отбирали ручным стеклянным пробоотборником, предварительно хорошо промытым дистиллированной водой.

Физические параметры (температура, мутность и проводимость), растворенный кислород и pH определялись с использованием многопараметрического прибора WTW (Multi 9620IDS). Взвешенные твердые частицы улавливались с помощью вакуумного насоса с фильтрующими элементами. Химические параметры (фосфаты, нитраты, нитриты, сульфаты, ионы аммония) определяли на фотоэлектроколориметре типа DR/890 HACH в видимом диапазоне с использованием реагентов. БПК<sub>5</sub> методом инкубации в течение пяти дней с использованием прибора Oxitop WTW и ХПК с использованием термореактора NANOCOLOR R-8 марки MN и колориметра марки DR/890 HACH. Анализы проводились в лаборатории Национального агентства по управлению очистными сооружениями Мали (ANGESEM).

Результаты анализа неочищенных сточных вод исследуемой стадии предварительного дубления представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические характеристики неочищенных сточных вод предварительного дубления

Наименование определяемого показателя	Единица измерения	Фактическое значение
Температура	°C	24,7
Проводимость	C <sub>M</sub>	6650
Мутность	ЕМФ	225
Взвешенные вещества	мг/л	1225
Растворенный кислород	мг/л	0,200
Водородный показатель pH		7,560
Фосфат-ион	мг/л	55,5
Сульфат-ион	мг/л	80
Хлорид-ион	мг/л	250
Нитрат-ион	мг/л	24,3
Нитрит-ион	мг/л	0,178
Ион аммония	мг/л	80
Органический азот	мг/л	6,24
Биохимическая потребность в кислороде (БПК <sub>5</sub> )	мг/л	800
Химическое потребление кислорода (ХПК)	мг/л	2885

Результаты анализа неочищенных сточных вод перед дублением показывают присутствие большого количества органических веществ, выраженных в химической потребности в кислороде (ХПК) и биологической потребности в кислороде (БПК<sub>5</sub>). Органические нагрузки на этом этапе составляют 80 % от общей органической нагрузки всех стоков кожевенных заводов [10].

Также отмечается высокое содержание сульфат- и хлорид-ионов, взвесей. Такие высокие уровни солей, органических веществ и взвешенных веществ обусловлены тем, что на этих этапах происходит удаление консервантов (хлорида натрия) и грязи (помета, земли, крови и т. д.) [6]. Что касается pH, то он близок к нейтральному из-за процесса нейтрализации кожи. Азот встречается в трех минеральных формах, из которых аммиачная форма азота составляет 60 % от общего количества азота. Высокая проводимость обусловлена значительным присутствием в этих водах солей.

Установка для очистки сточных вод в аэробных условиях состоит из сосуда для исходной воды, аэротенка I ступени, вторичного илоотделителя, аэротенка II ступени, третичного илоотделителя, сосуда для очищенной воды, и т. д., как показано на рис. 1.

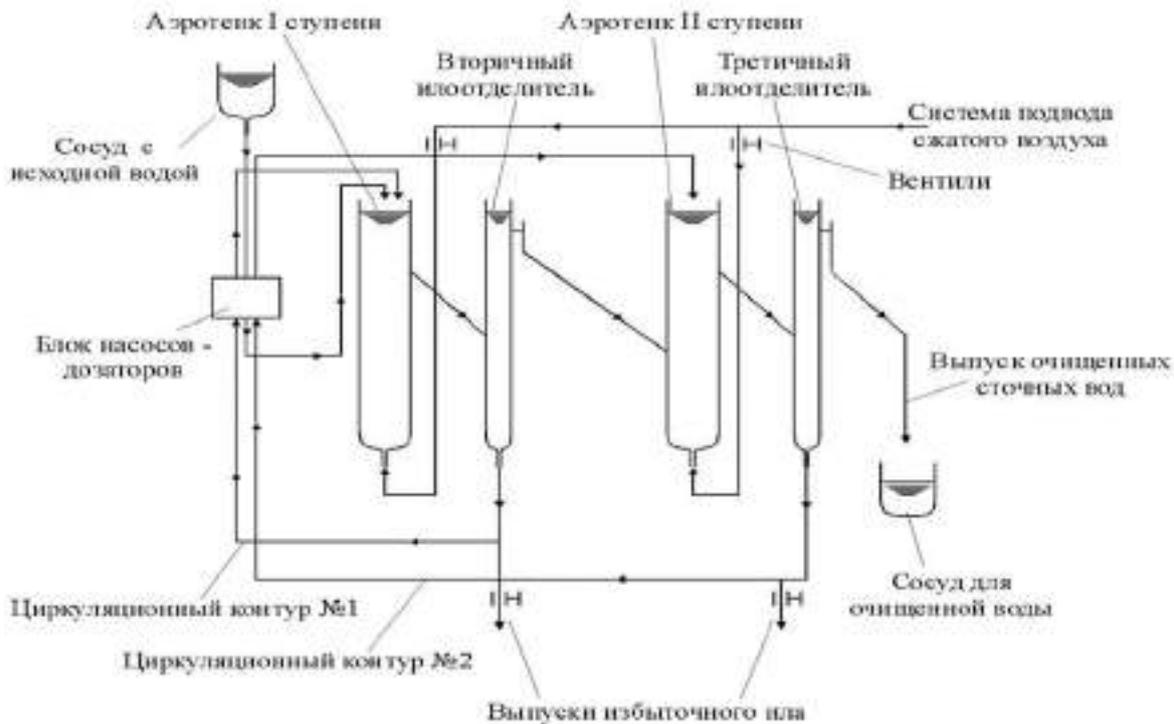


Рис. 1. Схема лабораторной установки двухступенчатой очистки сточных вод

Установка работала по принципу, который описан в [11] при очистке сточных вод кондитерских предприятий от загрязнения полидисперсными веществами в аэробных условиях. Очищенные сточные воды отбирались и анализировались в соответствии с упомянутыми выше методами анализа для оценки эффективности работы технологической системы.

Было проведено несколько экспериментов с разными дозами ила при различных концентрациях субстрата. Время аэрации составляло 5, 6, 10 и 12 часов. Каждый эксперимент длился 7 дней. Параметры загрязнения, являющиеся предметом очистки, измерялись в конце процесса очистки, при котором наблюдалось оптимальное снижение содержания субстратов, выраженных в БПК<sub>5</sub>.

Результаты экспериментальных исследований процесса очистки сточных вод кожевенных заводов в лабораторных условиях представлены в табл. 2.

Результаты эксперимента показывают оптимальное снижение субстрата при низких концентрациях и то, что скорость удаления субстрата варьируется в зависимости от доз ила и начальной концентрации субстрата, выраженной как БПК<sub>5</sub>. Эта скорость тем больше, чем больше доза ила, а концентрация субстрата меньше. Оптимальное значение (77,39) снижения содержания субстрата получено для начальной концентрации 800 мг/л

БПК<sub>5</sub> при дозе ила = 3,5 г/л и концентрации растворенного кислорода 4 мг/л в течение 6 часов аэрации.

Таблица 2

Параметры очистки сточных вод кожевенного завода в двухступенчатой системе «аэротенк-отстойник» (вторая ступень)\*

№ опытов	Регулирующие параметры						Контролируемые параметры					
	T <sub>a</sub> , час	X <sub>0</sub> , г/л	C <sub>o<sub>2</sub></sub> , мг/л	S <sub>0</sub> , мг/л	Q, л/ч	T, °C	S <sub>T</sub> , мг/л	I, см <sup>3</sup> /г	Z, доли ед.	pH	ρ, мг/г·ч	Степень очистки (%)
1	6	4	3	1200	1	22	532,79	100	0,132	6,2	32,028	55,600
2	6	3,5	3	1500	1	23	760,45	57	0,142	6,3	41,045	49,303
3	12	5	4	1100	1	22	458	80	0,149	6,2	12,3573	58,363
4	10	3,5	4	850	1	20	260,73	51,42	0,215	6,5	21,447	69,325
5	6	3,5	4	800	1	24,7	180,88	103	0,169	7,5	41,207	77,39

Примечание. \* – Условные обозначения: T<sub>a</sub> – период аэрации; X<sub>0</sub> – концентрация активного ила; C<sub>o<sub>2</sub></sub> – концентрация растворенного кислорода; S<sub>0</sub> – концентрация загрязнений в сточной воде (БПК<sub>5</sub>); Q – расход сточных вод; T – температура воды; S<sub>T</sub> – концентрация загрязнений в очищенной воде (БПК<sub>5</sub>); I – иловый индекс; ρ – удельная скорость очистки; pH – концентрация ионов водорода; Z – зольность активного ила.

Величину удельной скорости очистки ρ (мг субстрата на 1 г ила в час) рассчитывали по формуле:

$$\rho = \frac{S_0 - S_T}{X_0 \cdot (1 - Z) \cdot T_a}$$

Показатели процесса очистки представлены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры очистки сточных вод кожевенных заводов с использованием активного ила в двухступенчатой системе

Наименование определяемого показателя	Значение показателя, мг/л	
	до обработки	после обработки
Фосфат-ион	55,5	0,78
Сульфат-ион	80	80
Нитрат-ион	24,3	1,6
Нитрит-ион	0,178	0,006
Ион аммония	80	10
Органический азот	6,24	1,09
БПК <sub>5</sub>	800	89,78
ХПК	2885	475

Эффективность очистки по БПК<sub>5</sub>, ХПК, азот, фосфат и т. д. оценивалась при концентрации субстрата 800 мг/л, дозе ила 3,5 г/л и продолжительности аэрации 6 часов. Результаты указывают на снижение БПК<sub>5</sub> на 88,77 %, ХПК на 83,53 %, фосфат-ионов на 98,59 % и общего азота на 88,53 %.

Количество растворенного кислорода увеличилось. С другой стороны, концентрация сульфат-ионов остается неизменной, что можно объяснить отсутствием сульфатредуцирующих бактерий, поскольку в аэробных условиях сульфат может выступать акцептором электронов для группы бактерий, способных ингибировать окисление органических или неорганических соединений, они восстанавливаются до сульфатов для биоэнергетических целей. Этот процесс известен как разнородная сульфатредукция (сулидогенез) [12]. Скорость удаления общего азота и ионов аммония хорошо подтверждает этот вывод (очистка

сточных вод аэрацией обеспечивает удаление от 60 до 90 % аммония и от 50 до 90 % общего азота), сделанный Вильсоном Е. В [13].

### **Заключение.**

В результате предлагаемого процесса биологической очистки в аэробных условиях уменьшается концентрация субстрата. Другие параметры, такие как доза активного ила, период аэрации, температура и количество растворенного кислорода, также влияют на скорость очистки.

Исследование, проведенное на сточных водах предварительного дубления в лабораторных условиях в двухступенчатом аэротенке, позволило получить оптимальные показатели очистки: 88,77 % по БПК<sub>5</sub>, 83,53 % по ХПК, 88,53 % по азоту и 98,59 % по фосфатам. Исследование проведено при следующих оптимальных параметрах процесса: доза активного ила 3,5 г/л, растворенный кислород 4 мг/л, время аэрации 6 часов.

Полученные таким образом результаты позволяют прийти к выводу, что данная технология удаления примесей из сточных вод предварительного дубления остается перспективной с технической, экономической и экологической точек зрения.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Kanagara, J.** Eco-friendly waste management strategies for greener environment towards sustainable development in leather industry: a comprehensive review / J. Kanagara, T. Senthilvelan, R. C. Panda, S. Kavitha // *Journal of Cleaner Production*. – 2015. – Vol. 89. – Pp. 1-17.
2. **Cassano, A.** Recovery and reuse of chemicals in unhairing, degreasing and chromium tanning processes by membranes / A. Cassano, E. Drioli, R. Molinari // *Desalination*. –1997. – Vol. 113. – Iss. 2, 3. – Pp. 251-261. – Doi.org/10.1016/S0011-9164(97)00137-9.
3. **Ramasami, T.** Environmental aspects of leather processing / T. Ramasami, B. G. S. Prasad // *Proceedings of the «LEXPO–XV»*. – Calcutta, India, 1991. – 43 p.
4. **Amar, R. B.** Microfiltration efficiency in the treatment of wastewater from leather industry/ R. Ben Amar, E. Ellouze, B. B. Gupta, A. M. Ayad // *Journal of Water Science* – 2003. – Vol. 14. – No. 4. – Pp. 445-464.
5. **Haydar, S.** Biological treatment of tannery wastewater using activated sludge process / S. Haydar, J. A. Aziz, M. Saeed // *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2007. – Vol. 1. – Pp. 61-66.
6. Tannery effluents characterization and impacts on the marine environment / M. A. Aboulhassan, S. Souabi, A. Yaacoubi, N. Zaim, F. Z. Bouthir // *Journal of Water Science*. –Vol. – 21. – No. 4. – 2008. – Pp. 463-473.
7. Membrane application for recovery and reuse of water from treated tannery wastewater / R. Suthanthararajan, E. Ravindranath, K. Chitra, B. Umamaheswari, T. Ramesh, S. Rajamani // *Desalination*. – 2004. – Vol. 164. – Pp. 151-156.
8. **Саинова, В. Н.** Существующие методы химической очистки сточных вод кожевенных заводов / В. Н. Саинова, Д. Лассана, // *Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей LVIII Международной научно-практической конференции*, В 2 ч.. – Пенза: МЦНС «НАУКА и просвещение», 2022. – С. 44-48.
9. **Очистка сточных вод промышленных предприятий:** учебно-методическое пособие / сост. Т.И. Халтурина. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 164 с.
10. **Masum, Sh. A.** Case Study On Predicting The Environmental Impacts Of Untreated Effluent Generated From Tannery Industrial Estate In Dhaka, Bangladesh. / Sh. A.Masum, M. S. A Islam // *GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY*. – 2020. – Vol. 13. – No. 3. – Pp. 22-31. – <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-127>.

11. **Скосырева, Е. В.** Разработка технологии очистки сточных вод кондитерских предприятий от полидисперсных загрязнений в аэробных условиях: дис. ... канд. техн. наук 05.23.04 / Скосырева Екатерина Владимировна. – Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. – Волгоград, 2013. – 136 с.

12. **Ssempala, M.** Tannery waste water treatment and control / M. Ssempala // GSJ- 2022-Vol.10. – Issue 7. – Pp. 1559-1576.

13. **Вильсон, Е. В.** Технологии водоподготовки и очистки сточных вод на промышленных предприятиях: учебное пособие / Е. В. Вильсон. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2016. – 193 с.

Поступила в редакцию 5 декабря 2023

**ANALASYS OF THE TECHNOLOGY OF EFFECTIVE WASTEWATER TREATMENT  
AFTER ASHING IN A TWO-STAGE AERATION TANK,  
ON THE EXAMPLE OF THE LEATHER INDUSTRY IN MALI (IMAT),  
IN BAMAKO (MALI)**

**D. Lassana, V. N. Sainova**

---

Diop Lassana, post graduate student, Department of Life Safety and Environmental Engineering, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia, tel.: +7(8512)614-498; e-mail: lassanakarifo@gmail.com

Victoria N. Sainova, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor, Head of the Department of Life Safety and Environmental Engineering, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia, tel.: +7(8512)614-498; e-mail: sainovav@yandex.ru

---

The characteristics of wastewater from different tanneries vary depending on the technological processes, chemicals and types of hides used. The object of our study was wastewater formed at the stages of pre-tanning. This wastewater has a complex nature, contain both organic and inorganic pollutants in high concentrations and can cause damage to the environment. For deep purification of these waters from impurities, biological purification was used under aerobic conditions in a two-stage aeration tank. The experimental results show the purification efficiency of 88,77 % for biochemical oxygen demand<sub>5</sub>, 83,53 % for chemical oxygen demand, 98,9 % for phosphate ions and 88,53 % for total nitrogen when initial substrate concentration was 800 mg/l, expressed in biochemical oxygen demand<sub>5</sub>. These values were obtained at a dose of sludge of 3,5 g/l, aeration time was 6 hours daily during 7 days. The results of experimental studies show that the technology used is an environmentally viable alternative to traditional methods when potentially toxic chemicals in wastewater treatment are used at this stage.

**Keywords:** wastewater; tanneries; pre-tanning; aerotank; activated sludge; chemical oxygen demand; biochemical oxygen demand<sub>5</sub>; nitrogen; phosphate.

#### REFERENCES

1. **Kanagara J., Senthivelan T., Panda R. C., Kavitha S.** *Eco-friendly waste management strategies for greener environment towards sustainable development in leather industry: a comprehensive review.* Journal of Cleaner Production. 2015 Vol. 89. Pp 1-17.

2. **Cassano A., Drioli E., Molinari R.** *Recovery and reuse of chemicals in unhairing, degreasing and chromium tanning processes by membranes.* Desalination. 1997. Vol. 113. Iss. 2, 3. Pp 251-261 Doi.org/10.1016/S0011-9164(97)00137-9.

3. **Ramasami T., Prasad B. G. S.** *Environmental aspects of leather processing.* Proceedings of the «LEXPO–XV». Calcutta, India. 1991. p. 43.

4. **Amar R. Ben, Ellouze E., Gupta B. B Ayad A. M.** *Microfiltration efficiency in the treatment of wastewater from leather industry.* Journal of Water Science. 2003. Vol. 14. No. 4. Pp. 445-464.
5. **Haydar S., Aziz J. A., Saeed M.** *Biological treatment of tannery wastewater using activated sludge process.* Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences. 2007. Vol. 1. Pp. 61-66
6. **Aboulhassan M. A., Souabi S., Yaacoubi A., Zaim N., Bouthir F. Z.** *Tannery effluents characterization and impacts on the marine environment.* Journal of Water Science. Vol. 21. No. 4. 2008. Pp. 463-473.
7. **Suthanthararajan R., Ravindranath E., Chitra K., Umamaheswari B., Ramesh T., Rajamani S.** *Membrane application for recovery and reuse of water from treated tannery wastewater // Desalination.* 2004. Vol. 164. Pp. 151-156.
8. **Sainova V. N., Lassana D.** *There are methods of chemical wastewater treatment of tanneries.* Fundamental and applied scientific research: topical issues, achievements and innovations: collection of articles of the XVIII International Scientific and Practical Conference, Penza, Icn "Science and Education", 2022. Pp. 44-48. (in Russian)
9. **Wastewater treatment of industrial enterprises. studies.** the method. the manual [Electronic resource]. Krasnoyarsk, Sib. Feder. Univ. 2014. 164 p. (in Russian)
10. **Masum Sh. A., Islam M. S. A.** *Case Study On Predicting The Environmental Impacts Of Untreated Effluent Generated From Tannery Industrial Estate In Dhaka, Bangladesh.* Geography, Environment, Sustainability. 2020. Vol. 13. No. 3. Pp. 22-31. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-127>.
11. **Skosyreva E. V.** *Development of technology for wastewater treatment of confectionery enterprises from polydisperse contaminants in aerobic conditions:* dis. ... Candidate of Technical Sciences 05.23.04. Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Volgograd. 2013. 136 p. (in Russian)
12. **Ssempala Muhammad.** *Tannery waste water treatment and control.*GSJ. 2022. Vol. 10. Issue 7. Pp. 1559-1576.
13. **Wilson E. V.** *Technologies of water treatment and wastewater treatment at industrial enterprises. A study guide.* Rostov-on-Don. DSTU. 2016. 193 p. (in Russian)

*Received 5 December 2023*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Лассана, Д.** Исследование эффективной технологии очистки сточных вод после золениа в двух-ступенчатом аэротенке на примере кожевенной промышленности Мали (ИМАТ) в Бамако (Мали) / Д. Лассана, В. Н. Сайнова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 1(28). – С. 58-65. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.006.

**FOR CITATION:**

**Lassana D., Sainova V. N.** *Analasys of the technology of effective wastewater treatment after ashing in a two-stage aeration tank, on the example of the leather industry in Mali (IMAT), in Bamako (Mali).* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 58-65. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.006. (in Russian)

---

## ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО

---

## CITY. RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

---

DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.007

УДК 69.035.4

### ПОДЗЕМНАЯ УРБАНИСТИКА КАК АСПЕКТ ФОРМИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА В ИСТОРИЧЕСКИХ МЕГАПОЛИСАХ И КРУПНЕЙШИХ ГОРОДАХ

**И. А. Миронова, В. И. Текина**

---

Миронова Инна Александровна, канд. пед. наук, доцент кафедры проектирования городской среды, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева», Орел, Российская Федерация, тел.: +7(910)747-02-59; e-mail: hatshepsote@yandex.ru

Текина Валерия Игоревна, студент бакалавриата по направлению градостроительство, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева», Орел, Российская Федерация, тел.: +7(919)265-97-90; e-mail: tyokina2015@yandex.ru

---

Рассматривается проблема рациональности использования городских пространств в исторических частях мегаполисов и крупнейших городов в аспекте формирования архитектурно-градостроительной среды с использованием подземного пространства. Проанализированы наиболее характерные решения подземных сооружений из отечественной и зарубежной проектной практики, позволившие корректно отредактировать значимые с историко-градостроительной точки зрения фрагменты городской среды. Сделаны выводы о роли подземной части городов в организации пространств общественного назначения в исторической части мегаполисов и крупнейших городов. Дана оценка влиянию аспекта подземной урбанистики на качественные показатели формирования архитектурно-градостроительной среды. Выявлены два основных способа формирования архитектурно-градостроительного пространства мегаполисов и крупнейших городов с организацией в подземной части городов пространств общественного назначения. Сформулирован вывод о целесообразности использования подземной части городов для формирования пространств общественного назначения в исторических мегаполисах и крупнейших городах.

**Ключевые слова:** подземная урбанистика; подземное пространство; исторические мегаполисы и крупнейшие города; архитектурно-градостроительное пространство.

Одной из отличительных характеристик современности является неуклонный рост населения. Согласно прогнозам, численность населения в мире к 2030 году достигнет 8,5 млрд. человек. Поскольку город – наиболее востребованный тип поселения, прямым следствием увеличения численности населения является активное разрастание городов. Именно в городе концентрация людей достигает порой очень высоких значений. Закономерным результатом такой концентрации является увеличение количества крупнейших городов с численностью населения более 1 миллиона человек и мегаполисов – городов с численностью населения более 10 миллионов человек. Сам термин «megacity» – мегаполис и его количественное определение были сформулированы в докладах ООН в 1970-е годы. Первоначально город становился мегаполисом, преодолев планку численности населения в восемь миллионов человек, однако в дальнейшем эта планка была повышена до десяти миллионов [1]. В России к мегагородам пока можно отнести только один город -

Москву (численность жителей – 13104220 чел. по данным Росстата на конец 2022 г.<sup>1</sup> Число жителей в Санкт-Петербурге вдвое меньше 5377503 чел. (по данным на 2022 г.)<sup>2</sup>

Крупные города активно разрастаются, порождая целый ряд проблем – от экологических и социальных, до транспортных и экономических. Высокая концентрация населения в крупных городах и мегаполисах невольно заставляет задуматься архитекторов и градостроителей о рациональном использовании городских пространств [2]. На передний план выходит забота о человеке, основные принципы градостроительного законодательства ориентированы на учет экологических, экономических, социальных и других факторов. Этот факт находит прямое отражение в Градостроительном Кодексе Российской Федерации.<sup>3</sup> Рассматривая города, особенно исторические, как объект научного исследования, нельзя обойти стороной такой аспект, как подземная урбанистика. Необходимо выявление принципиальных подходов к формированию архитектурно-градостроительного пространства в мегаполисах и крупнейших городах с использованием подземного ресурса. В этой связи представляется актуальным проведение анализа проектных решений, связанных с использованием подземных пространств, соответствующих принципам устойчивой среды обитания и показателям качества городской среды. В ходе исследования использовались такие методы теоретического исследования, как анализ, синтез, обобщение. На первом этапе исследования был изучен опыт проектирования и строительства общественных подземных сооружений, влияющих на формирование архитектурно-градостроительного пространства в исторических мегаполисах и крупнейших городах.

Ярким примером отечественного подземного строительства, заслуживающим безусловного внимания, является Московский парк «Зарядье» (рис. 1).



Рис. 1. Парк «Зарядье». г. Москва

Парк расположен в центре Москвы, на месте гостиницы «Россия», демонтированной в 2006 году. Площадь парка составляет около 13 Га, из которых 78 тыс. м<sup>2</sup> занимают различные объекты. Отличительной характеристикой парка «Зарядье» являются перепады высот почти в 27 метров, поэтому почти все объекты как бы «спрятаны» под ландшафтом. Одним из главных зданий под землей является подземный интерактивный археологический музей парка. Помимо него, для сохранения территории была разработана подземная

<sup>1</sup> Управление Федеральной службы государственной статистики по Москве и Московской области. <https://77.rosstat.gov.ru/folder/64634>

<sup>2</sup> Управление Федеральной службы государственной статистики по Санкт Петербургу и Ленинградской области. <https://78.rosstat.gov.ru/folder/27595>

<sup>3</sup> Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 04.08.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2023) [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_51040/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/)

парковка на 430 автомобилей, в том числе и для автобусов. За счет использования подземного пространства, удалось реализовать архитектурно-ландшафтную концепцию на достаточно обширной территории, где высажено более 1 млн. растений и организовано 7 природных зон: хвойный, смешанный и прибрежный леса, степь, березовая роща, луг, северные ландшафты.

Нельзя обойти вниманием уникальную подземную оранжерею Флорариум (рис. 2). Сооружение представляет собой сложнейший инженерный объект бионической конструкции. Флорариум спроектирован в виде воронки и оснащен аэропонными системами выращивания растений. В оранжерее представлено более 300 видов растений из 89 субъектов Российской Федерации. Подземная часть оранжереи поделена на зоны, соответствующие федеральным округам, при этом учтено их географическое расположение.<sup>4</sup>



Рис. 2. Зонирование флорариума. Парк Зарядье. г. Москва

Следует отметить, что подземное пространство парка «Зарядье» продолжает развиваться. В первой декаде сентября 2023 г. в парке открылось новое многофункциональное подземное пространство — Паркинг Галерея. Название отражает актуальный для мегаполисов гибридный формат – круглосуточная подземная парковка на глубине 12 метров под землей в симбиозе с пространством, предназначенным для прикосновения к миру искусства и полностью соответствующим международным экспозиционным стандартам. Общая площадь Паркинг Галереи почти 3000 м<sup>2</sup>. Галерея дополнила культурно-просветительскую инфраструктуру парка, став третьим по размеру выставочным залом в историческом центре столицы – после Гостиного двора (12705,39 м<sup>2</sup>) и Центрального Манежа (9182,7 м<sup>2</sup>). Паркинг Галерею можно рассматривать как универсальную площадку, которую можно адаптировать под широкий диапазон культурных мероприятий и конкретные творческие идеи.<sup>5</sup>

Парк Зарядье можно рассматривать, как пример удачной интеграции современного архитектурно-ландшафтного парка с историческим центром мегаполиса мирового значения. Его можно высоко оценить по критериям оценки качества городской среды, в частности таким, как безопасность, комфортность, экологичность и здоровье, идентичность и

<sup>4</sup> Флорариум. <https://www.dkfproject.ru/projects/landscaping/72-florarium.html>

<sup>5</sup> Парк Зарядье. Паркинг-галерея. <https://www.zaryadyepark.ru/services/parking-galereya/>

разнообразие, современность и актуальность среды, эффективность управления [3, 4].

Оценивая влияние аспекта подземной урбанистики в формировании архитектурно-градостроительной среды, можно прийти к выводу, что в данном проектом решении подземные сооружения не играют доминирующей роли, площадь наземной части парка превышает площадь подземных площадок. Однако, именно использование подземного пространства и позволяет сохранить как исторический облик города, так и практически в буквальном смысле драгоценные площади для создания зеленой зоны.

Другим удачным примером использования подземного пространства при создании современной, динамически трансформируемой культурной площадки в историческом центре мегаполиса, является Дом культуры «ГЭС-2» (рис. 3). ГЭС-2 одна из старейших электростанций, которая питала контактную сеть городского трамвая. Из-за общего износа и высокой стоимости вырабатываемой электроэнергии в 2006 году станция была полностью выведена из эксплуатации и начала постепенно ветшать и разрушаться. В сентябре 2015 года было объявлено о планах реконструкции здания для открытия Академии современного искусства по проекту архитектурного бюро Renzo Piano Building Workshop под руководством Ренцо Пиано.



Рис. 3. «ГЭС-2» в ходе работ по реконструкции

Итогом этой работы стало современное пространство с каскадным доступом к воде, смотровой площадкой и березовой рощей на специально организованном приподнятом ландшафте, под которым находятся двухуровневая парковка и мастерские. Под деревьями установлена специальная система фильтрации грунта, которая позволяет собирать дождевую и талую воды. Накопленная таким образом вода очищается фильтрами, а затем используется в целях экономии ресурсов в санузлах и для орошения растений. Система управления поливом находится в техническом помещении под плитой рельефа. На минус первом этаже находятся главные выставочные площадки, одна из которых соединяет комплекс с мастерскими «Своды» (рис. 4). «Своды» были построены в 1870-х и представляли собой складские помещения со сводчатыми перекрытиями и погребями. Они принадлежали известному промышленнику Ивану Смирнову и были частью его фабрики. В середине прошлого века они были встроены в новое здание лаборатории и на какое-то время забыты. «Своды» были обнаружены во время проведения реставрационных работ. Теперь «Своды» — это двухуровневое пространство общей площадью 2 тыс. м<sup>2</sup>, в котором располагаются мастерские, оборудованные по последнему слову современных технологий. На

минус первом этаже располагаются помещения для видеопроизводства и студия звукозаписи. Также здесь располагается пекарня.<sup>6</sup>



Рис. 4. «Своды». ГЭС -2

Здание построено с учетом принципов энергоэффективности и экологической чистоты, что подтверждается получением сертификата LEED Gold (Leadership in Energy & Environmental Design) (рис. 5).



Рис. 5. Здание Дома культуры ГЭС – 2

Требования LEED учитывают такие параметры, как воздействие на окружающую среду, экономию водных и энергетических ресурсов, чистоту воздуха в здании, качественные характеристики строительных и отделочных материалов. Следует отметить, что

<sup>6</sup> Как устроен современный Дом культуры «ГЭС 2»? <https://thecity.m24.ru/articles/4290>

многие используемые стройматериалы содержали сырье вторичной переработки, а, например, кирпичи были восстановлены и использовались для отделки новых помещений.

Сравнивая проектные решения реконструкции Дома культуры ГЭС-2 и Парка Зарядье, можно заметить, что в формировании архитектурно-градостроительной среды ГЭС-2 подземное пространство также играет важную роль в сохранении наземных поверхностей, не занимая при этом доминирующих позиций.

Еще одним российским примером формирования архитектурно-градостроительного пространства мегаполиса с активным развитием по вертикали под землю и развитием зеленой зоны может служить торговый комплекс «Охотный ряд» на Манежной площади в городе Москве (рис. 6). Нельзя обойти стороной тот факт, что торгово-развлекательные центры являются своего рода символом перехода к качественному этапу развития рыночной экономики в России. Проводимые исследования показали, что одним из критериев привлекательности торгово-развлекательных центров для населения, является территориально-транспортное удобство расположения объекта [5]. Подземное размещение торгового комплекса в центре такого огромного мегаполиса, как Москва, стало практически идеальным техническим решением.



Рис. 6. Торговый комплекс «Охотный ряд». Манежная площадь. Москва:  
а – вид на сквер – наземную часть торгового комплекса;  
б – интерьер подземной части торгового комплекса

У проекта была сложная судьба. Первоначально он был разработан архитектором Борисом Улькиным. По задумке автора комплекс должен был иметь 7 уровней и уходить под землю на 40 метров. В комплексе предполагалось размещение театра, музея, картинной галереи, банков и офисов. Однако из коммерческих соображений было решено оставить только торговые площади. Борис Улькин отказался вносить изменения в проект, и он был передан «Моспроекту-2» во главе с архитектором Михаилом Посохиним [6].

В измененном проекте была реализована идея четырехуровневого комплекса, который уходит на глубину 15 метров под землю. Число подземных этажей составляло 3, один этаж был оставлен надземным. На нижних трех уровнях этажей организованы 3 галереи (63000 м<sup>2</sup>) со 100 торговыми точками, со стеклянными куполами сверху. Каждый уровень оформлен в стиле разных эпох, таких как классицизм и модерн. Над самим комплексом расположен сквер с системой озелененных площадей-террас, которые непосредственно спускаются амфитеатром к Александровскому саду. В сквере располагаются пешеходные эспланады, фонтаны и скульптуры.

Совершенно очевидно, что в проектом решении торгового комплекса «Охотный ряд» подземное пространство является доминирующим ядром, в то время как сквер, расположенный на наземной части комплекса, играет вспомогательную роль и не получил такого развития как ландшафтный парк Зарядье.

В качестве зарубежного опыта использования подземных сооружений в крупных исторических городах можно рассмотреть офис провайдера «Pioner» под названием «Белая

гора» в столице Швеции городе Стокгольме. Население Стокгольма по данным на 2023 год составляет 981 278 жителей (9,3 % населения страны), а с учетом стокгольмской агломерации 2 352 549 человек (9,3 % населения страны). Офис располагается в бывшем военном бункере, почти под 30 метрами гранитных пород, поэтому здесь будет уместно говорить об адаптации построенного ранее сооружения. Само сооружение и вход в него вписаны в горный массив (рис. 7).



Рис. 7. Вход в офис провайдера «Pionen». Стокгольм. Швеция

Площадь офиса составляет 1200 м<sup>2</sup> и в нем располагается одна из крупнейших сетей хранения и обработки данных (рис. 8).

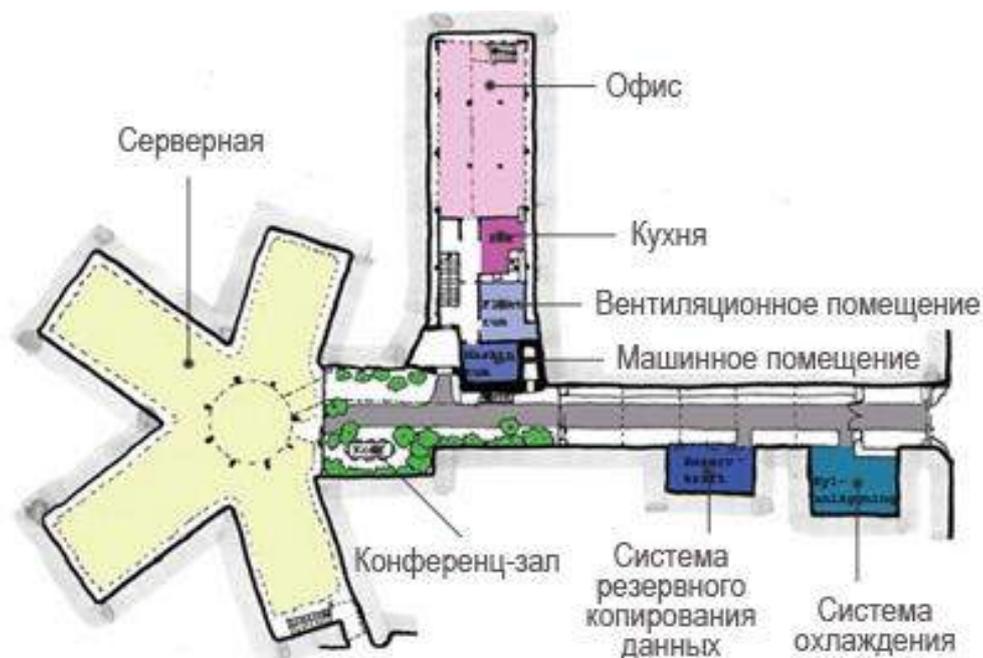


Рис. 8. Планировочная схема офиса провайдера «Pionen». Стокгольм. Швеция

В интерьере были оставлены гранитные стены, использовались также стекло и металл, пол в конференц-зале оформлен в виде лунной поверхности. Внутри большое множество зеленых растений, сооружены искусственные водопады и аквариум на 2600 л. Стены и перекрытия здания остались неизменны, и имеют большую толщину. На входе до сих пор стоят двери толщиной в 40 см. Резервное электропитание и систему охлаждения серверов обеспечивают два дизельных двигателя Maybach MTU на 1,5 мегаватта. [7]. Подземное пространство в проектом решении офиса играет доминирующую роль. Офис при этом корректно вписан в городскую среду и сохранен облик горы.

Помимо реализованных проектов подземных сооружений, влияющих на формирование архитектурно-городского пространства, представляет интерес проектное предложение мексиканского архитектурного бюро BNKR Arquitectura – Earthscraper, антагонист «небоскреба», вгрызающийся в землю или «скребущий Землю» в дословном переводе (рис. 9).



Рис. 9. Проект антагониста небоскреба – Earthscraper.  
Архитектурное бюро BNKR Arquitectura. Мексика

Столица Мексики – Мехико имеет весьма плотную застройку, из-за этого в нем не разрешено возводить здания высотой более 8 этажей, сохранение застроенной среды является первостепенной задачей. Исторический центр Мехико состоит, по сути, из различных исторических слоев формирования города, веками наслаивавшихся друг на друга. Даже пирамиды ацтеков относятся к различным историческим периодам, начиная от первых пирамид ацтеков, построенных на озере в долине Мехико и заканчивая периодом размаха и могущества империи ацтеков. С прибытием в Америку испанцев и колонизацией ацтеков поверх года ацтеков строится город колониальный. Однако и его постигла судьба города ацтеков – в XX веке многие колониальные здания были снесены, а на существующих исторических фундаментах возведены современные сооружения. Главная площадь Мехико, известная как «Сокало», занимает площадь 57 600 м<sup>2</sup> (240×240 м), что делает ее одной из крупнейших в мире. Она граничит с кафедральным собором, Национальным дворцом и зданиями городского правительства. В центре площади возвышается флагшток с огромным мексиканским флагом, который каждый день торжественно поднимается и опускается. Именно это место было выбрано бюро BNKR Arquitectura для разработки проекта Earthscraper – перевернутого небоскреба, который, по задумке авторов, проникает сквозь слои городов, чтобы обнажить исторические корни. Конструкция представляет собой перевернутую пирамиду с пустотой в центральной ее части, что позволяет помещениям по-

лучать естественное освещение и вентиляцию. Чтобы сохранить многочисленные мероприятия, которые проводятся на городской площади круглый год (концерты, политические манифестации, выставки под открытым небом, культурные мероприятия, военные парады и т.д.), пустотное пространство будет покрыто стеклянным полом, который позволит жизни в Earthscraper сливаться со всем, происходящим наверху [8]. Подземное пространство доминирует не только за счет предполагаемой задействованной площади, но и за счет визуальных эффектов.

На текущий момент отсутствуют данные о том, удастся ли авторам проекта приступить к его реализации. Однако сам факт разработки столь смелой идеи говорит о том, что для исторических центров мегаполисов и крупнейших городов мира идеи развития подземного пространства активно набирают популярность.

Примеры удачных проектных решений с использованием подземных пространств на градостроительно значимых территориях, показывают, что у развития подземной части мегаполисов и крупнейших городов есть перспективы. Особую актуальность задействование подземных пространств приобретает в исторических частях мегаполисов, позволяя корректно редактировать сложившееся архитектурно-градостроительное пространство. Этому способствуют такие преимущества подземного строительства, как возможность располагать сооружения под уже существующей застройкой и отсутствие необходимости в разрывах между собой [9].

Результаты изучения наиболее характерных проектных решений, часть из которых представлена в данной статье, позволили выявить два основных способа формирования архитектурно-градостроительного пространства мегаполисов и крупнейших городов с организацией в подземной части городов пространств общественного назначения:

- ✓ подземные сооружения используются фрагментарно, как часть общественного рекреационного пространства, они активно задействованы, но при этом не играют ведущей роли; в процентном отношении площадей наземное пространство доминирует;

- ✓ подземные сооружения являются активным и доминирующим ядром, общественное рекреационное пространство формируется, как наземная часть сооружения; в процентном отношении площадей доминирует подземное пространство.

На выбор способа влияет, в первую очередь, поставленная перед проектировщиком задача. Однако, для поисков путей ее решения, необходима комплексная оценка архитектурно-градостроительной и исторической ситуации. Немаловажную роль может сыграть природное окружение, что наглядно демонстрирует реализованный проект офиса провайдера «Pionen» в Стокгольме. Однако следует помнить и о том, что увеличение плотности подземной застройки, может пробудить ряд негативных геологических процессов [10]. Глубокий предпроектный анализ позволит провести оценку условий проектирования и, при необходимости, провести корректировку проектной задачи.

### **Заключение.**

Результаты исследования показывают, что в исторических частях мегаполисов и крупнейших городов целесообразно дальнейшее освоение и эксплуатация подземного пространства. Такой подход позволяет повысить индекс качества состояния городской среды и высвободить территории с высокой исторической, архитектурной и градостроительной значимостью в городах с высокой плотностью застройки для дальнейшего озеленения и формирования комфортной среды. В частности, проведенный анализ наглядно демонстрирует, что использование подземных пространств способствует:

- ✓ сохранению застройки, формирующей историческую городскую среду;
- ✓ повышению художественно-эстетических качеств городской застройки;
- ✓ осуществлению строительства зданий и сооружений в стесненной городской среде;
- ✓ созданию условий для восстановления и созидания уникальных ландшафтных

территорий.

Определены основные способы формирования архитектурно-градостроительного пространства мегаполисов и крупнейших городов с организацией в подземной части городов пространств общественного назначения – с доминирующей наземной частью и с доминирующей подземной частью. Выбор способа определяется местоположением объекта и задачами, поставленными перед проектировщиками.

Ввиду актуальности подземной урбанистики как аспекта формирования архитектурно-градостроительного пространства мегаполисов и крупнейших городов необходимы дальнейшие комплексные исследования в этой сфере.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Нотман, О. В.** Концептуализация понятия «мегаполис»: формально-количественный, правовой, функциональный и системный подходы / О. В. Нотман // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Социология. Политология. – 2021. – Т. 21. – Вып. 2. – С. 143-149.

2. **Саркисянц, М. Г.** Адаптивность подземных пространств в контексте устойчивого развития крупнейших городов / М. Г. Саркисянц // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Тезисы докладов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. Московский архитектурный институт. – 2020. – Том 1. – № 1. – С. 430-432.

3. **Шейна, С. Г.** Методическое и информационно-аналитическое сопровождение формирования комфортной среды при благоустройстве и озеленении застроенных территорий : монография / С. Г. Шейна, К. В. Чубарова. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2021. – 155 с.

4. **Федоровская, А. А.** Обзор методик оценки индекса качества городской среды / А. А. Федоровская, А. Г. Орловский // Материалы международной научно-практической конференции «Строительство и архитектура». – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 32-34.

5. **Нотман, О. В.** Торгово-развлекательные центры в пространстве мегаполиса: критерии и детерминанты выбора горожан / О. В. Нотман, А. П. Багирова // Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования. – 2019. – Том 5. – № 2. – С. 58-74.

6. **Назарова, Л. С.** Мечты о Манежной площади: подземное пространство как средообразующий инструмент градостроительства / Л. С. Назарова // Academia. Архитектура и строительство. – 2017. – № 4. – С. 125-129.

7. **Веретенников, Д. Б.** Архитектурное проектирование. Подземная урбанистика: учебное пособие / Д. Б. Веретенников. – Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2022. – 176 с.

8. **Shirowzhan, S.** Smart Cities and Construction Technologies / S. Shirowzhan, K. Zhang. – London: IntechOpen, 2020. – 204 p. – doi.org/10.5772/intechopen.86103.

9. **Миронова, И. А.** Подземная урбанистика как аспект формирования комфортной среды обитания / И. А. Миронова, В. И. Текина // Безопасный и комфортный город: материалы VI международной научно-практической конференции. – Орёл, 2023. – С. 329-335.

10. **Корчак, А. В.** Проблемы, направления и пути решения задач освоения подземного пространства мегаполисов / А. В. Корчак // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 5. – С. 89-98.

*Поступила в редакцию 14 ноября 2023*

#### UNDERGROUND URBANISM AS AN ASPECT OF THE FORMATION OF ARCHITECTURAL AND URBAN PLANNING SPACE IN HISTORICAL MEGACITIES AND MAJOR CITIES

**I. A. Mironova, V. I. Tyokina**

Inna Alexandrovna Mironova, Cand. Sc. (Pedagogic.), Associate Professor at the Department of Urban Environment Design, Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia, tel.: +7(910)747-02-59; e-mail: hatshespoote@yandex.ru

Valeriya Igorevna Tyokina, Bachelor's degree student in urban planning of the Department of Urban Environment Design, Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia, tel.: +7(919)265-97-90; e-mail: tyokina2015@yandex.ru

In the article we consider the problem of the rational use of urban spaces in the historical parts of megacities and major cities in the aspect of the formation of an architectural and urban environment using underground space. We have analyzed the most characteristic solutions of underground structures from domestic and foreign design practice, which made it possible to correctly edit details of the urban environment that are significant from a historical and urban planning point of view. We draw a series of conclusions about the role of the underground part of cities in the organization of public spaces in the historical part of megacities and major cities. We as well assessed the influence of the aspect of underground urbanism on the qualitative indicators of the formation of the architectural and urban environment. Also, we identified two main ways of forming the architectural and urban space of megacities and major cities with the organization of public spaces in the underground part of cities. The conclusion is formulated about the expediency of using the underground part of cities to form public spaces in historical megacities and major cities.

**Keywords:** underground urbanism; underground space; historical megacities and major cities; architectural and urban planning space.

## REFERENCES

1. **Notman O. V.** *Conceptualization of the concept of "megapolis": formal-quantitative, legal, functional and systemic approaches.* Izvestiya Saratov University. A new series. Series: Sociology. Political science. 2021. Vol. 21. Issue. 2. Pp. 143-149. (in Russian)
2. **Sarkis'janc M. G.** *Adaptability of underground spaces in the context of sustainable development of the largest cities.* Science, education and experimental design: collection of articles of the international scientific and practical conference of the teaching staff, young scientists and students. Moscow Architectural Institute. 2020. Vol. 1. No. 1. Pp. 430-432. (in Russian)
3. **Sheina S. G., Chubarova K. V.** *Methodological and information-analytical support for the formation of a comfortable environment for landscaping and landscaping of built-up areas:* monograph. Rostov-on-Don, DSTU. 2021. 154 p. (in Russian)
4. **Fedorovskaja A. A., Orlovsky A. G.** *Review of methods for assessing the urban environment quality index.* Materials of the international scientific and practical conference Construction and Architecture. Rostov-on-Don. 2020. Pp. 32-34. (in Russian)
5. **Notman O. V., Bagirova A. P.** *Shopping and entertainment centers in the space of a megalopolis: criteria and determinants of citizens' choice.* Bulletin of the Tyumen State University. Socio-economic and legal research. 2019. Volume 5. No. 2. Pp. 58-74. (in Russian)
6. **Nazarova L. S.** *Dreams of Manezhnaya Square: underground space as an environment-forming tool of urban planning.* Academia. Architecture and construction. 2017. No. 4. Pp. 125-129. (in Russian)
7. **Veretennikov D. B.** *Architectural design. Underground urbanism: a textbook.* Moscow, FORUM: INFRA-M. 2022. 176 p. (in Russian)
8. **Shirowzhan S., Zhang K.** *Smart Cities and Construction Technologies.* London, IntechOpen. 2020. 204 p. doi.org/10.5772/intechopen.86103
9. **Mironova I.A., Tyokina V. I.** *Underground urbanism as an aspect of the formation of a comfortable living environment.* A safe and comfortable city: collection of articles of the VI International Scientific and Practical Conference. Orel. 2023. Pp. 329-335. (in Russian)

10. **Korchak A. V.** *Problems, directions and ways of solving the problems of developing the underground space of megacities*. Mining information and Analytical bulletin (scientific and technical journal). 2014. No. 5. Pp. 89-98. (in Russian)

*Received 14 November 2023*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Миронова, И. А.** Подземная урбанистика как аспект формирования архитектурно-градостроительного пространства в исторических мегаполисах и крупнейших городах / И. А. Миронова, В. И. Текина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 1(28). – С. 66-77. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.007.

**FOR CITATION:**

**Mironova I. A., Tyokina V. I.** *Underground urbanism as an aspect of the formation of architectural and urban planning space in historical megacities and major cities*. Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 66-77. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.007. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.008

УДК 712.423

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ГАЗОН КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЛАГОУСТРОЙСТВА ГОРОДСКИХ ПРОСТРАНСТВ

Е. Ю. Витюк, А. Ю. Обухова

Витюк Екатерина Юрьевна, кандидат архитектуры, Советник РААСН, доцент кафедры архитектурного проектирования, ФГБОУ ВО «УрГАХУ», руководитель проектов концептуальных разработок ООО «НКГ», Екатеринбург, Российская Федерация, тел.: +7(906)810-09-92; e-mail: help\_nir@mail.ru

Обухова Александра Юрьевна, архитектор, ООО «ПАРКЪ.РФ», Екатеринбург, Российская Федерация, тел.: +7(902)503-85-41; e-mail: Roseanulu.@yandex.ru

В статье изложены основания гипотезы о создании альтернативного газона как способа формирования озелененных объектов городской среды с сокращением затрат на их содержание в период эксплуатации. Дано определение термина «альтернативный газон». Приведены данные по средним затратам на содержание газонов. Представлен обзор современных тенденций в области создания и эксплуатации городских газонов. Предложен перечень растений, наиболее подходящих по сформированной группе критериев для региональных условий Свердловской области. Описан эксперимент по созданию альтернативного газона в г. Екатеринбурге с применением травянистых растений сныти и анемоны.

**Ключевые слова:** городская среда; озеленение; газон; эксплуатация; эффективность; эстетичность; малое хозяйство; декоративность.

Газоны в городских пространствах являются неотъемлемым элементом системы озеленения, выполняя набор следующих функций:

- ✓ создание благоприятного микроклимата;
- ✓ создание благоприятной санитарно-гигиенической обстановки;
- ✓ выполнение инженерно-защитных функций;
- ✓ сохранение биоразнообразия в городах;
- ✓ формирование эстетичного облика городских пространств;
- ✓ поглощение дождевых и талых вод;
- ✓ формирование благоприятных условий отдыха (рекреационная функция);
- ✓ создание смены сценариев восприятия пространства и разнообразия форм.

Одним из важнейших свойств следует считать возможность газонов положительно влиять на состояние здоровья людей. Происходит это за счет того, что газоны обладают способностями удерживать пыль и микрочастицы и очищать воздушный бассейн города [1, 2], повышать уровень влажности в городах и защищать почву и корневые системы растений от пересыхания. Газоны являются частью зеленого каркаса города и своеобразными проводниками чистого воздуха и свежести от водных объектов и городских лесов, лесопарков и парков, создавая вместе с деревьями и кустарниками непрерывные «зеленые коридоры» в системе улиц и дорог. Газонные растения способны впитывать излишки воды, выпадающей в виде осадков, за счет чего предотвращают застои воды, развитие плесени и др. Они создают акценты зеленых оттенков, что полезно для человека с точки зрения психо-физиологии, т.к. зеленый цвет считается самым «спокойным цветом из всех существующих» [3], что способствует расслаблению глазной мышцы и уменьшению частоты саккады, снижают уровень шума.

Если обратиться к определению данного термина, то оно звучит так: газон – это элемент благоустройства, состоящий из травянистых растений искусственного происхожде-

ния (созданных в результате хозяйственной деятельности человека посевом семян специально подобранных трав или укладкой рулонной дернины), или естественного происхождения (выросших в результате естественных процессов, без ведения хозяйственной деятельности человека). При этом процесс формирования аккуратного, эстетически привлекательного газона и поддержание его в хорошем состоянии представляет собой набор мероприятий, требующих вложения множества ресурсов (грунт, посадочный материал, удобрения, вода, профессиональная рабочая сила, технические средства и др.). Из всего вышесказанного следует, что газон – весьма эффективный инструмент по созданию благоприятной городской среды. Однако он представляет собой довольно дорогой проект.

Перед городами стоит задача по увеличению процента озеленения, увеличению биоразнообразия, сохранению и поддержанию экосистем, очищению воздушного бассейна, в целом улучшению качества жизни населения, но при этом важно повысить эффективность принимаемых решений по благоустройству городских пространств и снижению расходов на их эксплуатацию и содержание. Например, по сведениям портала «PROGAZON» «...ежегодно для содержания газонов только в США за год расходуется более 11 млрд. литров воды, 757 млн. литров бензина для газонокосилок и почти 32 тыс. тонн пестицидов». По данным портала «Реальное время» на полив газонов и деревьев г. Казань в 2021 г. была заложена в бюджет сумма около 64,4 млн рублей. На содержание газонов в центре Нижнего Новгорода в 2022 г. было выделено 236 миллионов рублей.

При оценке стоимости услуг компаний в Свердловской области по уходу за газонами была получена следующие данные средней стоимости обслуживания газона до 200 кв. м. (таблица) (указана средняя цена услуги, актуальная на 2023 г.).

Средняя стоимость услуг по уходу за газоном в Свердловской области  
(указана средняя цена услуги, актуальная на 2023 г.)

Наименование работ	Стоимость работ
Стрижка газона со сбором мусора (высота травостоя не более 10 см)	15 руб./м <sup>2</sup>
Стрижка газона со сбором мусора (высота травостоя более 10 см)	20 руб./м <sup>2</sup>
Внесение комплексных минеральных удобрений (без стоимости удобрений)	4 000 руб.
Обработка от сорняков (гербициды избирательного действия) методом тонко-дисперсионного опыления	25 руб./м <sup>2</sup>
Вычесывание газона от войлока со сбором мусора (вертикуляция и скарификация)	30 руб./м <sup>2</sup>
Весенняя чистка газона (скарификация, аэрация газона, сбор старого войлока, шлифовка газонокосилкой)	30 руб./м <sup>2</sup>

При анализе ситуации на рынке можно прийти к выводу, что на сегодняшний день стоимость устройства посевного газона площадью 1000 м<sup>2</sup> составит около 800 000 руб. Стоимость его содержания варьируется в зависимости от различных условий, но в среднем города ежегодно тратят на уход за городскими газонами 250 млн. руб. При этом комплексный уход за газонами предусматривает в течение сезона (май-октябрь) следующие работы:

- ✓ аэрацию, скарификацию;
- ✓ борьбу с сорняками, вредителями и болезнями;
- ✓ вычесывание газона;
- ✓ подкормку специализированными удобрениями;
- ✓ регулярный покос газона;
- ✓ сбор мусора и скошенной травы;
- ✓ реставрация и восстановление газона.

В настоящее время идет пересмотр самого феномена газона и поиск путей оптимизации процесса ухода за этим объектом благоустройства.

Покос газонов не только ресурсозатратное мероприятие, но и процесс, приводящий к высыханию самого газона, почвы, гибели корневой системы растений, гибели насекомых, что в последствии приводит к нарушению всей экосистемы, неэстетичному виду объекта, а также к новым финансовым затратам на его восстановление. Многие страны, оценив данный ущерб, отказываются от частого кошения газонов. Так, в 2021 г. В Лондоне было скошено в три раза меньше травы по сравнению с предыдущими периодами [4].

Мировые тенденции в этом вопросе позволяют сделать следующий вывод: газон должен стать малоуходным, т.е. состоять из растений, не требующих частого покоса (либо вовсе обходящиеся без него), постоянного полива и подкормки, прополки и др., но при этом сохраняющих эстетичный внешний вид.

В своем интервью Игнатьева М.Е. говорит: «Во многих европейских странах растет число луговых газонов, также предлагается новое поколение так называемых гобеленовых газонов, созданных из местных многолетних низкорослых травянистых растений (минимум 30 видов), например, земляники, лапчатки, яснотки и тимьяна. По таким газонам кстати можно ходить, ведь многие виды приспособлены к вытаптыванию. В Швеции и Германии также применяют, например, специально выращенную дернину из низкорослых видов газонных трав в сочетании с другими травянистыми растениями. Такая дернина способна жить на сложных городских участках, например, по обочинам дорог» [информационный портал «PROGAZON». – Режим доступа: <https://progazon.tilda.ws/>]. Газоны должны формироваться с учётом задачи сохранения видов, быть привлекательными для расселяющихся особей, чтобы те могли мигрировать между ООПТ. В Новосибирском справочнике авторы приводят сведения, что при неблагоприятных условиях и больших затратах на создание травяного газона, его можно заменить на альтернативный из почво-кровных древесных растений [5].

Эксперименты в этом направлении проводятся и в России. Так, в г. Пермь с 2010 г. идет эксперимент по воссозданию высокотравного многовидового газона из местных видов травянистых растений. По сведениям Плешковой Е.В. «...исследования 2019 года продемонстрировали, что на газоне произрастали 44 вида травянистых растений. Из них 20 видов – луговых, 2 вида – лесостепных, 1 вид - лесной, 12 видов – синантропные, 9 видов – сорно- рудеральные. Рудеральный компонент такого газона важен для зимующих птиц, стеблевых насекомых, насекомых-монофагов. В 2022 году количество видов увеличилось до 54» [6]. Волкова Л.Б. сделала доклад об опыте по проектированию парка на улице И. Бабушкина в Москве с сохранением и восстановлением луговой части [7], в котором озвучила планы о работе с территорией «Заповедный луг» размером три гектара, а также перечислила найденные на тот момент растения и насекомых Красной книги Москвы и угрожающие им факторы. В Екатеринбурге на протяжении десяти лет проводится эксперимент по созданию озеленения газонной части улицы с помощью сныти (*Aegopodium*) и анемоны лесной (*Anemone sylvestris*) [8]. Отдельно стоит отметить, что анемона лесная постепенно вытеснила сныть, не дает развития сорнякам, выносит близость автомобильной дороги и создает эстетичный, привлекательный внешний вид территории.

На основании проведенного анализа и многолетних наблюдений за экспериментальными посадками авторами выдвинута гипотеза о разработке «альтернативного газона», состоящего из низкорослых, почвокровных растений, характерных для конкретных условий климатической зоны. Альтернативный газон – искусственно созданная зона озеленения с применением травянистых растений, устойчивых к антропогенным воздействиям городской среды (стресс) и способных к быстрой адаптации к ним, а также обладающих способностью быстро восстанавливать и длительно сохранять эстетичный внешний вид.

Для реализации идеи о создании таких газонов необходимо выделить критерии отбора растений, на основе которых сформировать каталог с рекомендациями по их применению.

На основе анализа выявленных проблем при эксплуатации газонов на территории Свердловской области (наблюдалось состояние городских газонов в поселениях: г. Екатеринбург, г. Верхний Тагил, г. Первоуральск, г. Ревда, г. Богданович, пгт Бисерть, пгт Рефтинский, пгт Белоярский) выделены следующие критерии отбора растений для создания «альтернативного газона»:

✓ малоуходность – длительный период пребывания озелененного объекта без мероприятий по уходу (прополка, стрижка, подкормка, полив, укрытие от заморозков) с сохранением эстетичного внешнего вида;

✓ зимостойкость – выдерживание растением комплекса внешних воздействий (низких температур, холодных ветров, снежного покрова) в холодный период года (зона зимостойкости для Свердловской области – 3 и 4 [9]) [10];

✓ засухоустойчивость – способность растения переносить обезвоживание и перегрев тканей, адаптация его к недостатку воды;

✓ устойчивость к неблагоприятным воздействиям городской среды – способность растения выдерживать выбросы углекислого газа, засоление почв, наличие в воздухе тяжелых частиц, газообразных соединений серы и т.п. без потери декоративности и более того – аккумулировать вредные выбросы в себе [11];

✓ теневыносливость – способность растений выносить полное или частичное отсутствие солнечного света длительный период без критических потерь и гибели растения;

✓ устойчивость к прямым солнечным лучам – способность растений длительный период выносить солнечные лучи без высыхания и гибели растения, т.е. длительная устойчивость к дефициту воды;

✓ длительный период декоративности – длительный период сохранения растением привлекательности: формы, цвета листьев, обилие листьев и их «плотность»;

✓ устойчивость к вытаптыванию – способность растения противостоять механическим воздействиям и повреждениям при перемещении непосредственно по их надземным частям или способность к быстрому восстановлению.

Перечисленные критерии представляют собой важные для региональных особенностей свойства растений, позволяющие повысить эффективность зоны озеленения (под эффективностью в данном случае понимается снижение затрат на содержание территории при сохранении ее эстетических и санитарно-гигиенических свойств). Отдельно следует выделить специфику территорий Свердловской области – резкие перемены погоды, что влияет на требования к уникальному сочетанию свойств растений.

Попытки создать перечни рекомендуемых к использованию растений на территории Российской Федерации уже встречаются. Ассоциацией производителей посадочного материала (АППМ) ведутся работы по формированию каталогов растений с классификацией их по видам, кратким описанием самих растений и условий для их произрастания [12, 13]. Ботанические сады РАН в городах России разрабатывают каталоги местной флоры. Представителем АППМ Безматерных Александром в рамках VII Всероссийской ландшафтной конференции «Сады и люди» (9-12 ноября 2023, г. Дербент) был сделан доклад «Ботанические сады и дендрарии как инструмент проекта ФКГС и объект притяжения», в котором он презентовал начало работы по разработке каталога растений, пригодных для благоустройства городских территорий в климатических условиях г. Санкт-Петербурга [Международная ландшафтная конференция «Сады и люди»: официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://greenconference.ru/konferenciya-v-derbente-2023> (дата обращения: 14.11.2023)].

Анализ растений Свердловской области позволил прийти к следующему ассортименту посадочного материала, отвечающего обозначенным выше критериям отбора и подходящего для формирования «альтернативного газона» и «цветущего газона»:

✓ низкорослые растения (до 50 см): подорожник (*plantago*), полынь (*artemisia*), тагетес (*tagetes*), календула (*calendula*), гелениум (*helenium*), космея (*cosmos*), мелисса

(melissa), мята (mentha), котовник (nepeta), гвоздика (dianthus), герань луговая (geranium pratense), василек луговой (centaurea jacea), горец змеиный (bistorta officinalis), сныть (aegorodium), анемона (anemone);

✓ растения средней высоты (от 50 до 80 см): пижма (tanacetum), вискария (viscaria), мордовник (echinops), кровохлебка (sanguisorba), цикорий (cichorium);

✓ стелющиеся растения: манжетка (alchemilla), живучка (ajuga), лапчатка гусиная (potentilla anserina), яснотка (lamium), клевер (trifolium), горец птичий (polygonum aviculare), пахизандра (pachysandra), очиток (sedum), флокс шиловидный (phlox subulata), ясколка (Cerastium), подмаренник душистый (galium odoratum), кислица рожковая (oxalis corniculata);

✓ лекарственные травы: настурция (tropaeolum), эхинацея (echinacea), родиола розовая (rhodiola rosea), амарант (amaranthus), зверобой (hypericum), иссоп (hyssopus), шалфей лекарственный (salvia officinalis), фенхель (foeniculum), валериана (valeriana), копытень (asarum);

✓ декоративные овощные культуры: листовой салат (lactuca sativa), лук (allium), петрушка (petroselinum), укроп (anethum), капуста (brassica), базилик (ocimum), огуречная трава (borago) мангольд (beta vulgaris), эстрагон (artemisia dracunculus), лебеда (atriplex hortensis), щавель (rumex) [14].

Применение данного растительного материала при оформлении озелененных пространств в городской структуре позволит уйти от потребности в таких операциях по уходу за растениями и поддержанию эстетичного вида пространств как: прополка, покос, стрижка, подсев; позволит сохранять эстетичный вид объекта при резких изменениях температуры (похолодание или повышение температур вплоть до засухи) без экстренных мероприятий по защите растений; при изменениях уровня влажности и количества осадков. Альтернативный газон – это метод создания объекта озеленения, устойчивого к резким изменениям погоды, к антропогенным воздействиям, к самосеву и прорастанию сорных растений, способного длительное время самостоятельно сохранять эстетичный внешний вид без активного участия человека.

Отдельно стоит отметить возможность применения хвойных низкорослых растений (микробиота (microbiota), можжевельник горизонтальный (juniperus horizontalis), можжевельник даурский (juniperus davurica), можжевельник лежачий (juniperus procumbens), сосна горная (pinus mugo)), способных создать аналогичный «альтернативному газону» зрительный эффект, т.е. формирование плотной озелененной зоны, ограниченной по высоте. При этом использование стелющихся и низкорослых хвойных растений позволит увеличить период присутствия зеленого цветового акцента в городской среде ввиду сохранения хвои на ветвях в течение всего года при любых погодных условиях, а также увеличит санитарно-гигиенический эффект от объекта озеленения из-за фитонцидов, выделяемых хвойными растениями.

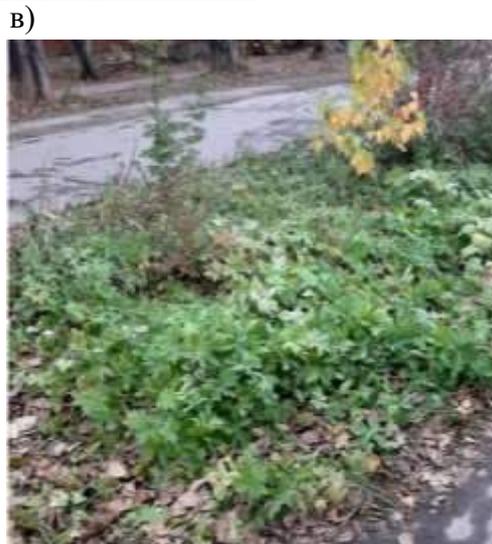
Традиционный газон, безусловно, также следует применять при благоустройстве городов, т.к. устойчивость его составляющих растений к антропогенным воздействиям доказана, эстетичность ухоженного традиционного газона весьма высока, но для ее достижения необходим хороший уход за объектом и, как следствие, значительные затраты ресурсов. Ввиду этого предлагается ограничить перечень зон его устройства в городской среде, а также сформировать перечень применяемых трав для формирования традиционного газона, наиболее подходящих для условий Свердловской области: мятлик луговой (poa pratensis), овсяница (festuca), райграс (lolium), полевица (agrostis), тимофеевка (phleum), донник (melilotus), пырей (elytrigia).

#### *Опыт создания альтернативного газона в Екатеринбурге*

В 2012 году в условиях г. Екатеринбурга была произведена экспериментальная посадка сныти вариегата (Aegorodium Variegata) и анемоны лесной (Anemone sylvestris). Сныть обыкновенная вариегата – почвопокровный многолетник высотой до 20...25 см.

Его особенностью являются светло-зеленые листья с широкой кремовой каймой, что придает растению дополнительную декоративность. Свой внешний вид они сохраняют на протяжении всего сезона (теплого периода, т.е. с мая по октябрь). Быстро разрастается с помощью подземных побегов. Отдельно стоит отметить, что сныть обладает лечебными свойствами и применяется в медицине и кулинарии. Анемона лесная – цветущий травянистый многолетник, является представителем семейства лютиковых. Она быстро разрастается за счет корневых отпрысков, образует пышный ковер из прикорневых пальчато-рассеченных, опушенных темно-зеленых листьев на длинных черешках. Высота растения 35...50 см. Это одно из немногих растений, способных расти на бедных песчаных почвах. Анемона способна адаптироваться к степени освещенности участка произрастания.

Цель эксперимента – создание озелененного пространства без дополнительных усилий и ресурсов в городском пространстве транзитной улицы в границах бывшей водоотводной канавы. Сныть быстро заполнила собой пространство, создав монолитный пестрый ковер. Однако, по истечению 10-летнего срока, анемона практически вытеснила сныть с территории. На иллюстративном материале можно увидеть особенности поведения растений и внешнего вида объекта озеленения (см. рисунок).



Альтернативный газон на базе сныти и анемоны, г. Екатеринбург (фото автора):

а – внешний вид альтернативного газона в период цветения анемоны;

б – внешний вид газона после покоса (хотя объект в покосе не нуждается);

в – внешний вид и состояние листвы сныти и анемоны в октябре (успели восстановиться после скашивания)

На фотографиях видны неоспоримые преимущества растений: в зоне размещения корней сныти и анемоны другие травы практически не произрастают; растения имеют эс-

тетичный внешний вид и не нуждаются в обрезке, покосе, прополке, образуя при этом аккуратную форму всего объекта озеленения с формированием своеобразной густой «шапки» (рисунок, а); растения не нуждаются в срезке, а в случае повреждений быстро восстанавливаются (рисунок, б); оттенок и форма листа сохраняется до глубокой осени, когда традиционный газон уже теряет зеленый оттенок (рисунок, в).

Оба растения показали выносливость к погодным условиям, отсутствию специального полива, подкормкам, прополке, соседству с автомобильной и пешеходной дорогами. Быстро восстанавливаются после срезки (городская служба в соответствии с правилами благоустройства города не менее двух раз производит скашивание растений в общегородских пространствах). Растения не привели к появлению и распространению каких-либо вредных насекомых или грызунов. Сныть и анемона являются агрессивными растениями, за счет чего не дали сорным растениям активно размножиться на занятой ими территории канавы.

### **Заключение.**

Результат проведенного эксперимента свидетельствует о том, что применение альтернативного газона в городских пространствах как инструмента озеленения не только возможно, но и дает хороший результат с точки зрения эксплуатационных и декоративных характеристик, а значит, может быть рекомендован к массовому применению на территории поселений Свердловской области.

Альтернативный газон выполняет функции обычного газона, но при этом обладает дополнительными преимуществами: значительно сокращает расход ресурсов на содержание объекта озеленения, является более устойчивым к антропогенным воздействиям, увеличивает биоразнообразие в городской среде.

---

*Авторы выражают благодарность Президенту Фонда культурного и природного наследия «Обвинская роза» г. Перми Плешковой Елене Владимировне за консультации и предоставленные материалы.*

*Авторы выражают благодарность доктору с-х наук, профессору кафедры ландшафтного строительства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» Аткиной Людмиле Ивановне за консультации.*

---

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Плешкова, Е. В.** Для чего нужны луга в городе? Санитарно-защитные функции многотравных (в том числе высокотравных) луговых газонов из растений местных видов / Е. В. Плешкова // Состояние и охрана окружающей среды города Перми: сборник. – Пермь: Управление по экологии и природопользованию администрации города Перми, 2020. – С. 35-37. – Режим доступа: <https://www.gorodperm.ru/upload/pages/43/Ekologija-Sbornik-2020.pdf> (дата обращения: 15.11.2023)
2. **Селезнев, А. А.** Тяжелые металлы в поверхностном грязевом осадке города Екатеринбурга / А. А. Селезнев // Известия уральского государственного горного университета. – 2018. – № 1(49). – С. 46-54.
3. **Казакевич, М. С.** Цветовое воздействие на человека / М. С. Казакевич // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2001. – №. 4 (том 01). – С. 151-154.
4. **Плешкова, Е. В.** Восстановление биоразнообразия с помощью высокотравного видосберегающего газона – вариант ревайлдинга / Е. В. Плешкова // Состояние и охрана окружающей среды города Перми: сборник. – Пермь: Управление по экологии и природопользованию администрации города Перми, 2021-2022. – С. 86-87. – Режим доступа:

[https://www.gorodperm.ru/upload/pages/43/Sbornik\\_ekologija\\_goroda\\_2021-2022.pdf](https://www.gorodperm.ru/upload/pages/43/Sbornik_ekologija_goroda_2021-2022.pdf) (дата обращения: 14.11.2023).

5. **Дубынина, Е. С.** Зеленые страницы Новосибирска: краткий справочник озеленителя / Е. С. Дубынина. – Новосибирск: ООО «Сибэкоцентр», 2019. – 76 с.

6. **Плешкова, Е. В.** Разнотравные газоны из местных видов растений – возвращение в город! / Е. В. Плешкова // Состояние и охрана окружающей среды города Перми: сборник. – Пермь: Управление по экологии и природопользованию администрации города Перми, 2019. – С. 58-59. – Режим доступа:

[https://www.gorodperm.ru/upload/pages/43/2020/Prilozhenije\\_2.pdf](https://www.gorodperm.ru/upload/pages/43/2020/Prilozhenije_2.pdf) (дата обращения: 14.11.2023).

7. Использование растений природной флоры в цветочном оформлении, в проектируемом парке «Заповедный луг» в Москве / Т. В. Левченко, Н. В. Астанина, Л. Б. Волкова, Н. П. Кияткина, А. А. Антохина, И. Ю. Донцова, Н. А. Соболев // Проблемы озеленения крупных городов: сборник материалов XXI Международной Научно-практической конференции. – Москва, 2019. – С. 59-66.

8. **Витюк, Е. Ю.** Биодренажные канавы и дождевые сады как инструмент благоустройства современного города / Е. Ю. Витюк // Архитектон: известия вузов. – 2022. – № 3(79). – DOI: 10.47055/1990-4126-2022-3(79)-11.

9. **Костылев, Д. А.** Обобщение данных по зимостойкости декоративных видов и сортов древесных растений / Д. А. Костылев // Сборник докладов VI ежегодной конференции Ассоциации Производителей Посадочного Материала «Российские питомники: перспективы роста». – Москва, 2013. – С. 18-22 – Режим доступа: [https://www.ruspitomniki.ru/upload/file/sbornik\\_dokladov\\_vi\\_konferencii\\_appm.pdf](https://www.ruspitomniki.ru/upload/file/sbornik_dokladov_vi_konferencii_appm.pdf).

10. **Федулов, Ю. П.** Устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды: учебное пособие / Ю. П. Федулов, В. В. Котляров, К. А. Доценко. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 64 с.

11. **Сергейчик, С. А.** Оптимизация окружающей среды средствами озеленения / С. А. Сергейчик. – Москва: Наука и техника. – 1985. – С. 68-75.

12. **Каталог многолетних травянистых растений, выращиваемых в питомниках АППМ.** 2-е изд., дополненное / И. Бочкова, М. Ахмечет, О. Таливанова и др. – Москва: АППМ, 2021. – 352 с.

13. **Каталог древесных растений, выращиваемых в питомниках АППМ** / М. Ахмечет, Е. Тимофеенко, О. Таливанова и др. – Москва: АППМ, 2022. – 432 с.

14. **Витюк, Е. Ю.** Программа развития оздоровительного потенциала озелененных общественных пространств города / Е. Ю. Витюк // Архитектон: известия вузов. – 2022. – №2(78). DOI: 10.47055/1990-4126-2022-2(78)-20.

*Поступила в редакцию 25 декабря 2023*

## **ALTERNATIVE LAWN AS A MEANS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF LANDSCAPING URBAN SPACES**

**E. YU. Vityuk, A. YU. Obukhova**

---

Ekaterina Yuryevna Vityuk, Cand. Sc. (Architecture), Advisor to the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Associate Professor of the Department of Architectural Design of the Ural State University of Architecture and Arts, project manager for conceptual developments of the company NKG LLC, Ekaterinburg, Russia, tel.: +7(906)810-09-92; e-mail: help\_nir@mail.ru

Alexandra Yuryevna Obukhova, architect, PARK.RF LLC, Ekaterinburg, Russia, tel.: +7(902)503-85-41; e-mail: Roseanulu.@yandex.ru

---

The article outlines the basis of the hypothesis about the creation of an alternative lawn as a

way of creating green facilities in the urban environment while reducing the costs of their maintenance during the period of operation. We give a definition of the term *alternative lawn*. We give some data on the average costs of maintaining lawns and present an overview of current trends in the creation and operation of urban lawns. We display a list of plants that are most suitable according to the formed group of criteria for the regional conditions of the Sverdlovsk region. We describe here an experiment of creating an alternative lawn in the city of Yekaterinburg using herbaceous plants, namely aegopodium and anemones.

**Keywords:** urban environment; landscaping; lawn; operation; efficiency; aesthetics; low maintenance; decorative-ness.

## REFERENCES

1. **Pleshkova E. V.** *Why are meadows needed in the city? Sanitary protective functions of multi-grass (including tall grass) meadow lawns from plants of local species.* State and environmental protection of the city of Perm: collection. Perm. Department of Ecology and Natural Resources Management of the Perm City Administration, 2020. Pp. 35-37. Access mode: <https://www.gorodperm.ru/upload/pages/43/Ekologija-Sbornik-2020.pdf> (access date: 11/15/2023). (in Russian)
2. **Seleznev A. A.** *Heavy metals in surface mud sediment of the city of Yekaterinburg.* News of the Ural State Mining University. 2018. No. 1(49). Pp. 46-54. (in Russian)
3. **Kazakevich M. S.** *Color effect on humans.* Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics. 2001. No. 4 (volume 01). Pp. 151-154. (in Russian)
4. **Pleshkova E. V.** *Restoring biodiversity using a tall grass species-saving lawn - a variant of rewilding.* State and environmental protection of the city of Perm: collection. Perm. Department of Ecology and Natural Resources Management of the Perm City Administration, 2021-2022. Pp. 86-87.  
URL: [https://www.gorodperm.ru/upload/pages/43/Sbornik\\_ekologija\\_goroda\\_2021-2022.pdf](https://www.gorodperm.ru/upload/pages/43/Sbornik_ekologija_goroda_2021-2022.pdf) (access date: 11/14/2023). (in Russian)
5. **Dubynina E.** *Creation and maintenance of lawns.* Green pages of Novosibirsk (a short reference book for a landscaper). Berdsk. Sibecocenter LLC. 2019. URL: [https://ecodelo.org/rossiyskaya\\_federaciya/sibirskiy\\_fo/novosibirskaya\\_oblast/45609-sozdanie\\_i\\_soderzhanie\\_gazonov](https://ecodelo.org/rossiyskaya_federaciya/sibirskiy_fo/novosibirskaya_oblast/45609-sozdanie_i_soderzhanie_gazonov) (access date: 08/12/2021). (in Russian)
6. **Pleshkova E. V.** *Forb lawns made from native plant species – a return to the city!* State and environmental protection of the city of Perm: collection. Perm. Department of Ecology and Natural Resources Management of the Perm City Administration, 2019. Pp. 58-59. URL: [https://www.gorodperm.ru/upload/pages/43/2020/Prilozhenije\\_2.pdf](https://www.gorodperm.ru/upload/pages/43/2020/Prilozhenije_2.pdf) (access date: 11/14/2023). (in Russian)
7. **Levchenko T. V., Astanina N. V., Volkova L. B., Kiyatkina N. P., Antokhina A. A., Dontsova I. Yu., Sobolev N. A.** Problems of greening large cities: a collection of materials of the XXI International Conference. Scientific and practical conferences. Moscow. 2019. Pp. 59-66. (in Russian)
8. **Vityuk E. Yu.** *Biodrainage ditches and rain gardens as a tool for improvement of a modern city.* Architect: news from universities. 2022. No. 3(79). URL: [http://archvuz.ru/2022\\_3/11/](http://archvuz.ru/2022_3/11/). (in Russian)
9. **Kostylev D. A.** *Generalization of data on winter hardiness of ornamental species and varieties of woody plants.* Collection of reports of the VI annual conference of the Association of Planting Material Producers Russian nurseries: growth prospects. Moscow. 2013. Pp. 18-22. <https://web.archive.org/web/20150402132350/http://www.ruspitomniki.ru/articles/page642.php> (access date: 10/12/2018). (in Russian)
10. **Fedulov Yu. P., Kotlyarov V. V., Dotsenko K. A.** *Plant resistance to adverse environmental factors.* textbook. Krasnodar. KubGAU. 2015. 64 p. (in Russian)

11. **Sergeychik S. A.** *Gas absorption capacity of plants and accumulation of industrial pollution elements in them. Optimization of the environment by means of landscaping Moscow. Science and Technology.* 1985. Pp. 68-75. (in Russian)
12. Catalog of perennial herbaceous plants grown in APPM nurseries. 2nd ed., supplemented. Moscow. APPM. 2021. 352 p.
13. **Akhmechet M., Timofeenko E., Talivanova O.** *Catalog of woody plants grown in APPM nurseries.* Moscow APPM. 2022. 432 p. (in Russian)
14. **Vityuk E. Yu.** *Program for the development of the health potential of green public spaces in the city* [Electronic resource]. Architect: news from universities. 2022. No. 2(78). URL: [http://archvuz.ru/2022\\_2/20/](http://archvuz.ru/2022_2/20/). (in Russian)

*Received 25 December 2023*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Витюк, Е. Ю.** Альтернативный газон как средство повышения эффективности благоустройства городских пространств / Е. Ю. Витюк, А. Ю. Обухова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 1(28). – С. 78-87. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.008.

**FOR CITATION:**

**Vityuk E. Yu., Obukhova A. Yu.** *Alternative lawn as a means of increasing the efficiency of landscaping urban spaces.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 78-87. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.008. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.009

УДК 711.58

## БЛАГОУСТРОЙСТВО ПРИДОМОВОЙ ТЕРРИТОРИИ В СИСТЕМЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ И ЗЕМЕЛЬНО-ИМУЩЕСТВЕННЫХ ОТНОШЕНИЙ

Е. Н. Карпушко, М. О. Карпушко

Карпушко Елена Николаевна, канд. экон. наук, доцент, профессор кафедры экспертизы и эксплуатации объектов недвижимости, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(8442)97-45-13; e-mail: karpushkoelena@yandex.ru

Карпушко Марина Олеговна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры конструкций автобронетанковой техники, Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация, тел.: +7(919)484-2567; e-mail: mkarpushko@gmail.com

Рассмотрен земельный участок, как объект недвижимости в системе градостроительных и земельно-имущественных отношений. Приведены теоретико-методологические основы осуществления деятельности по благоустройству, межеванию земельных участков при постановке их на государственный кадастровый учет. Подчеркнута основная характеристика земельного участка, а именно, местоположение его границ с дальнейшей идентификацией конкретной части земной поверхности. Разобран состав придомовой территории в соответствии с правилами и нормами технической эксплуатации. Приведены преимущества контроля над придомовой территорией. Рассмотрен земельный участок в статусе придомовой территории. Выявлены особенности правового регулирования жилищных споров по отнесению отдельных элементов благоустройства к общему имуществу, установлению границ прилегающей территории и эксплуатации помещений общего пользования в многоквартирных домах. Изучены основные источники формирования правовых отношений и результаты их реализации в рамках обеспечения комфорта и безопасности территории многоквартирных домов. Предложены механизмы регулирования и обслуживания элементов благоустройства и придомовой территории на основании проведенного анализа. Сделаны выводы о необходимости совершенствования проведения процедур межевания территории (для определения границ и решения вопроса об обслуживании элементов благоустройства и финансовом участии собственников многоквартирных домов), осуществления государственного кадастрового учета и установления правил зонирования (для сокращения разногласий между управляющими организациями и муниципальными органами власти по вопросам содержания отдельных элементов благоустройства и эксплуатации придомовой территории), для размещения объектов благоустройства в условиях ограниченности дворовых пространств. Проведенные исследования позволили определить слабые стороны нормативного управления деятельностью по благоустройству – регулированию нормативно-правовых актов и порядка осуществления жилищных разбирательств по благоустройству.

**Ключевые слова:** земельный участок; земельно-имущественные отношения; благоустройство; правовое регулирование; жилищные споры; границы прилегающей территории; правила зонирования.

Согласно п. 4 ч. 1 ст. 36 Жилищного кодекса Российской Федерации, земельный участок, на котором расположены многоквартирный дом и иные входящие в состав такого дома объекты недвижимого имущества, является общей долевой собственностью владельцев помещений в многоквартирном доме (МКД). Для определения правового статуса придомовой территории при МКД необходимо учитывать нормы земельного, градостроительного законодательства, а также государственного и муниципального права. Рассмотрим земельный участок в системе градостроительных и земельно-имущественных отношений. Земельный участок является базовым объектом недвижимости, и грамотное пони-

мание того, что подразумевает собой земельный участок, влияет на возможное нарушение прав и законных интересов его собственников; реализацию органами власти своих функций управления в сфере развития территории в целом; обеспечения комфортного проживания. Разберем трансформацию понятия «земельный участок».

Впервые, на законодательном уровне, понятие земельного участка было закреплено в 2000 году федеральным законом от 2 января 2000 г. № 28-ФЗ «О государственном земельном кадастре». Определение в редакции закона состояло из двух частей. Во-первых, это объект земельно-имущественных отношений, а во-вторых – это поверхность земной поверхности, в том числе ее почвенный слой, границы которой описаны и удостоверены в установленном порядке. Данное определение просуществовало до 2008 года, а именно до принятия федерального закона № 141-ФЗ от 22 июля 2008 г. о государственном кадастре недвижимости.

В первой редакции Земельного кодекса, в соответствии с федеральным законом №136-ФЗ от 25 октября 2001 г., земельным участком являлась часть земной поверхности, границы которой определены в соответствии с федеральными законами. Статья 11.1 действовала до 1 марта 2015 года.

Федеральным законом «О государственном кадастре недвижимости» был урегулирован порядок определения границ земельного участка, как объекта недвижимости, и установлены все процедуры, связанные с его кадастровым учетом. Поэтому на следующем этапе потребовалось внесение изменений и в само понятие земельного участка. Действующая редакция Земельного кодекса РФ определяет земельный участок, как объект права собственности и иных предусмотренных Кодексом прав на землю, и является недвижимой вещью, которая представляет собой часть земной поверхности и имеет характеристики, позволяющие определить ее в качестве индивидуально определенной вещи. В случаях и в порядке, которые установлены федеральным законом, могут создаваться искусственные земельные участки (ст.1 п.3 федерального закона № 171-ФЗ от 23 июня 2014 г.).

Гражданский кодекс РФ в редакции федерального закона № 430-ФЗ от 21 декабря 2021 г., вступившего в силу с 1 марта 2023 г., статьей 141.2 земельным участком признает часть поверхности земли, границы которой определены в порядке, установленном законом, а статьей 130 – недвижимой вещью.

Указанные понятия подчеркнули основную характеристику земельного участка, а именно местоположение его границ с дальнейшей идентификацией конкретной части земной поверхности. В этом случае земельный участок становится объектом гражданского права.

Благоустройство придомовой территории, как части участка многоквартирного жилого дома (группы домов), примыкающей к жилым зданиям, находящейся в преимущественном пользовании жителей домов и предназначенной для обеспечения бытовых нужд и досуга жителей дома(ов), является важным аспектом комфорта жизни жителей многоквартирных домов. Обеспечение чистоты и порядка на территории, благоустройство зеленых насаждений, обустройство детских и спортивных площадок способствуют не только улучшению эстетичного вида, но и созданию комфортных условий для жизни и отдыха жителей.

Преимущества контроля над придомовой территорией в том, что собственники могут принимать решение о том, какие объекты могут быть на территории домовладения, а какие нет, могут выбирать по каким правилам благоустроить территорию, какие площадки установить, сколько отвести мест под парковку. Владельцы жилья могут использовать территорию для дополнительного заработка, а полученные средства использовать для улучшения прилегающей территории и улучшения инфраструктуры. Правообладатели могут сдавать землю и помещения в аренду, размещать элементы рекламы, за счет чего при продаже квартиры могут оцениваться выше [1].

В условиях проведения грамотной и специализированной деятельности необходимо учитывать особенности правового регулирования в данной области.

Состав придомовой территории утвержден пунктом 3.5.11 Правил и норм технической эксплуатации, утвержденных Постановлением Госстроя от 27 сентября 2003 г. № 170 «Об утверждении Правил и норм технической эксплуатации жилищного фонда». Придомовая территория должна иметь: площадку для отдыха взрослых, детские игровые и спортивные площадки с озеленением и необходимым оборудованием малых архитектурных форм (МАФ) для летнего и зимнего отдыха детей. На хозяйственной площадке должны быть столбы с устройством для сушки белья, ящик с песком, бачок для мусора и стол со скамейками. Площадку можно оградить живой изгородью. Требования к озеленению определены пунктами 3.8.1...3.8.3 Правил и норм технической эксплуатации. В соответствии с пунктом 6.2 ГОСТ Р 52301-2013 «Оборудование и покрытия детских игровых площадок. Безопасность при эксплуатации. Общие требования» контроль за техническим состоянием детских игровых площадок и контроль соответствия требованиям безопасности, техническое обслуживание и ремонт осуществляет владелец.

В процессе осуществления мероприятий по благоустройству могут возникнуть противоречия между управляющими компаниями, собственниками помещений и муниципальными органами, которые приходится решать, в том числе и в судебном порядке. Классификация судебных дел в указанном вопросе представлена на рис. 1. Решение конфликтных ситуаций также возможно в рамках досудебного урегулирования. Внедрение института медиации в данном вопросе могло бы значительно сократить количество судебных разбирательств.



Рис. 1. Классификация судебных процессов осуществления мероприятий по благоустройству

Большую часть гражданского судопроизводства занимают споры, которые выявляют следующие вопросы [2]:

- 1) как эффективно защищены права сторон в области жилищных правоотношений и могут ли быть они оспорены в суде;
- 2) необходима ли в корректировка в положениях законодательства, регламентирующих их порядок;
- 3) являются ли соответствующие процедуры достаточно прозрачными [3].

Анализ сведений о деятельности судов общей юрисдикции и арбитражных судов РФ<sup>1</sup> за последние три года свидетельствует о росте их количества (рис. 2). При этом можно сделать вывод о необходимости изучения деятельности управляющих организаций по благоустройству и проведения анализа нормативно-правовых актов, ее регламентирующих.

Одним из главных условий договора управления между управляющими компаниями

<sup>1</sup> Сведения о деятельности судов общей юрисдикции и арбитражных судов РФ в 2022 г. – Текст: электронный // fparf.ru: [сайт]. - URL: <https://fparf.ru/practical-information/statistics/svedeniya-o-deyatelnosti-sudov-obshchey-yurisdiktsii-i-arbitrazhnykh-sudov-rf-v-2022-g/> (дата обращения: 04.05.2023).

и собственниками помещений, в соответствии со ст. 162 Жилищного кодекса РФ, выступает перечень объектов общего имущества, что является первым классифицированным признаком судебных разбирательств по рис. 1. Если для МКД не зафиксирован состав общего имущества его владельцев, то нет и самого объекта управления [4].

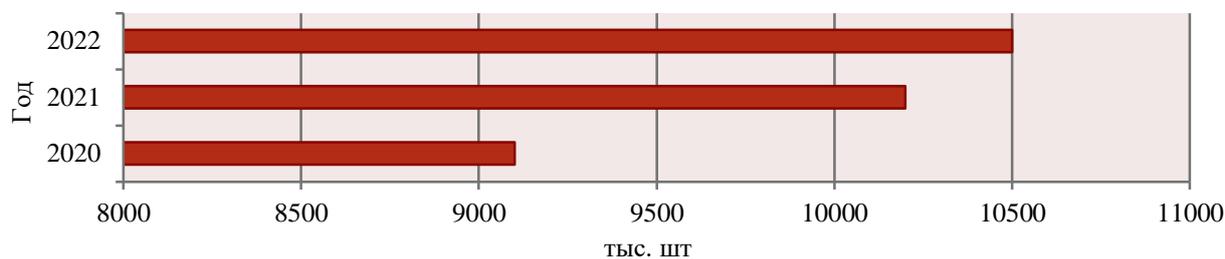


Рис. 2. Количество судебных разбирательств в жилищной сфере

Споры между собственниками помещений в МКД и управляющими организациями по поводу отнесения отдельных элементов благоустройства к общему имуществу и правил их содержания являются одной из частых судебных практик. Для подтверждения прав необходимо указывать в договоре управления состав общедомового имущества владельцев помещений. Если перечень утвержден и документально закреплён, то возможно оспаривание решений надзорного органа. Подобные основания выступают правовым гарантом, как для владельцев, так и для управляющих организаций.

Вопросы о порядке использования придомовой территории решаются путем проведения общего собрания собственников помещений в многоквартирном доме посредством очного и заочного, а также очно-заочного голосования (статьи 44, 44.1 ЖК РФ) [5]. В том случае, если результатом голосования по теме благоустройства определяется более половины положительных решений, тогда вопрос считается принятым. После проведения общего собрания необходимо надлежащим образом оформить протокол и направить его в орган управления, в котором он должен быть исполнен в установленном порядке.

Распространенным нарушением в проведении общего собрания собственников помещений является несоответствие количества участников в подсчете голосов. Для того чтобы избежать подобных нарушений, следует уведомить собственников о предстоящем собрании с указанием даты, места и времени согласно ч. 5 ст. 45 ЖК РФ, а также в соответствии с ч. 3 ст. 48 ЖК РФ, осуществлять подсчет голосов пропорционально доле собственника в общем имуществе МКД. При противоречиях следует обратиться к результатам предыдущих собраний и сравнить с данными из реестра собственников по участникам, в том числе по площади принадлежащего им помещений [6].

В судебной практике также встречаются судебные дела, связанные с определением границ МКД. Правовая основа границ земельного участка под многоквартирными домами определяется актами местного самоуправления в виду отсутствия на федеральном уровне нормативных требований к величине земельного участка, на котором находится, кроме ссылок на ст. 42 и ст. 43 Градостроительного Кодекса РФ [7]. Земельный участок в статусе придомовой территории учитывает нормы земельно-имущественного, градостроительного законодательства, а также государственного и муниципального права (рис. 3).

Осуществление качественных работ по благоустройству напрямую связано с эффективным управлением и эксплуатацией прилегающей территории в ее границах [8]. Можно выделить три варианта установления границ МКД:

- 1) земельный участок под МКД не образован;
- 2) прилегающая территория образована по границам МКД;
- 3) участок сформирован и поставлен на кадастровый учет.

В первых двух случаях согласно статье 210 ГК РФ принципы благоустройства территории МКД не могут определять прямое или финансовое участие собственников поме-

щений в содержании придомовой территории. В том случае, если участок сформирован и поставлен на кадастровый учет, обязанности по содержанию придомовой территории, элементов благоустройства и МАФ, а также эксплуатации оборудования возлагаются на владельцев земельного участка в соответствии с нормами права [9].

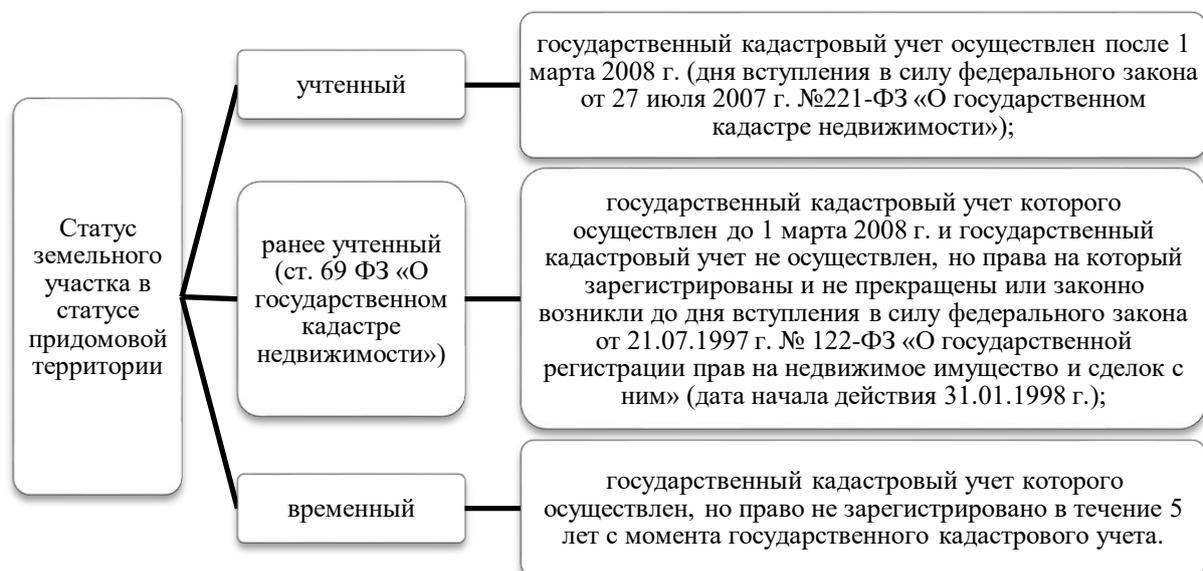


Рис. 3. Статус земельного участка в рамках придомовой территории

Границы прилегающей территории зависят от площади дома, количества этажей и плотности застройки района города и согласно нормативу, составляют 3-6 метров от дома. Сведения о земельном участке могут содержаться в Росреестре или Государственном кадастре недвижимости. Если границы не установлены или установлены по границам МКД, тогда по решению собственников может быть рассмотрен вопрос о проведении процедуры межевания, результатом которой является оформление кадастрового паспорта [10].

Уточнение границ ранее учтенного земельного участка – это определение достоверных сведений об основных характеристиках ранее учтенных земельных участков. Результатом может быть изменение основных характеристик земельного участка на основании межевого плана. При уточнении границ земельного участка их местоположение определяется исходя из сведений, содержащихся в документе, подтверждающем право на земельный участок, или при отсутствии такого документа исходя из сведений, содержащихся в документах, определявших местоположение границ земельного участка при его образовании.

В случае отсутствия в документах сведений о местоположении границ земельного участка его границами считаются границы, существующие на местности пятнадцать лет и более. В этом случае допускается изменение площади такого земельного участка в соответствии с условиями, указанными в пунктах 32, 32.1 части 1 статьи 26 федерального закона «О государственном кадастре недвижимости». В межевом плане приводится обоснование местоположения уточненных границ земельного участка. При проведении правовой экспертизы документов, представленных для осуществления государственного кадастрового учета, проверка обоснованности местоположения уточненных границ земельного участка, в том числе изменения площади уточненного земельного участка, если такое уточнение местоположения границ земельного участка не приводит к нарушению условий, указанных в пунктах 32 и 32.1 и 45 части 1 статьи 26 ФЗ «О государственном кадастре недвижимости», государственным регистратором прав не осуществляется.

Схема расположения земельного участка, на котором расположены многоквартирный дом и иные входящие в состав такого дома объекты недвижимого имущества, до ее

утверждения подлежит рассмотрению на общественных обсуждениях или публичных слушаниях в порядке, предусмотренном законодательством о градостроительной деятельности для утверждения проекта межевания территории.

Для осуществления процесса межевания управляющая компания может обратиться в муниципальный орган и предоставить список соответствующих документов:

- ✓ протокол общего собрания о результатах обсуждения и принятых решений;
- ✓ техническую документацию, которая содержит информацию о технико-экономических показателях объекта;
- ✓ данные о том, что границы территории ранее не определялись.

В соответствии с Градостроительным регламентом и строительными нормами проводятся необходимые осмотры и измерения, после которых формируется акт об определении границ земельного участка и оформляется право владения на участок и прилегающую территорию. Он регистрируется в ЕГРН с выдачей соответствующих документов, которые находятся в организации, осуществляющей управление объектом.

В условиях принятия управленческих решений могут возникать противоречия относительно результатов проведения публичных слушаний, в результате которых собственники помещений будут иметь возможность рассмотреть вопросы по установлению платежей на благоустройство, использование объектов общего имущества, формирование границ придомовой территории, проведение работ по ремонту оборудования малых архитектурных форм и других необходимых задач. В подобных ситуациях судом рассматривается правомерность принятия отдельных решений и соблюдение порядка проведения голосования.

Следующий показатель рассматривает законность и правила использования общего имущества. Главным правилом является несоблюдение границ собственности, неправомерное использование лестничных площадок, чердаков, технических этажей, подвалов, придомового участка, из-за чего возникают конфликты между владельцами помещений, аварийные и пожароопасные ситуации. Вследствие чего появляются штрафы надзорных органов за нарушение законодательства и угрозу безопасности жильцов [11].

При установлении права собственности и использования нежилых помещений в судебном порядке решается, является ли оно общим имуществом многоквартирного дома [12]. В соответствии со ст. 290 ГК РФ помещения в МКД принадлежат владельцам на праве общедолевой собственности. Наиболее часто противоречия возникают относительно чердаков или подвалов. Анализ судебной практики выявил, что для определения принадлежности спорной собственности к общему имуществу следует рассматривать правовой режим выбранных помещений и определять:

- 1) являются ли эти объекты недвижимости самостоятельными и предназначены ли они для обслуживания МКД;
- 2) использовались ли объекты фактически в качестве общего имущества всеми владельцами МКД или только непосредственно одним собственником, в чьем фактическом владении данное помещение находится.

Другим важным аспектом правового регулирования благоустройства является соблюдение правил зонирования территории. Владельцы участков должны учитывать его границы и не нарушать зоны, предназначенные для общественной деятельности или проезда [13]. Для наглядности можно использовать приёмы, приведенные на рис. 4, разработанные в 2020 году Министерством строительства и ЖКХ РФ и приведенные в каталоге «Принципиальные архитектурно-планировочные решения: Благоустройство»<sup>2</sup>. Вариант озеленения по принципу живой изгороди позволяет осуществлять зонирование и одно-

---

<sup>2</sup> Стандарт комплексного развития территорий: Каталог 3. Принципиальные архитектурно-планировочные решения: Благоустройство / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, ДОМ.РФ, КБ Стрелка. – 2020. – 245 с. : ил.

временно выступает в роли декоративной составляющей.

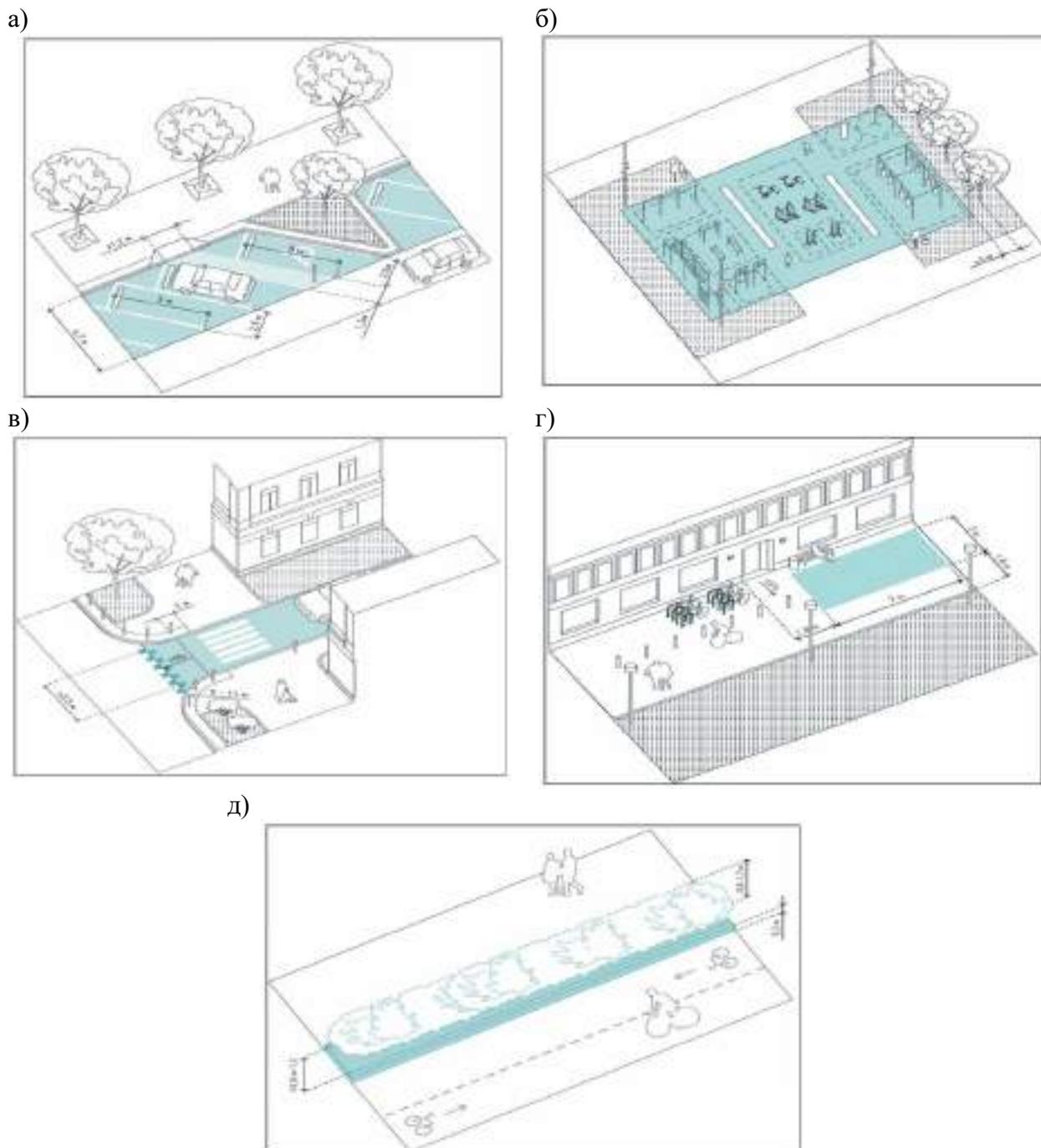


Рис. 4. Приемы зонирования территории:

- а – освобождение территории локализацией парковок; б – организация периметра дворовой территории;  
 в – устройство основных и второстепенных проездов; г – акцентирование входов во двор и подъезды;  
 д – установление озеленения по принципу живой изгороди

В условиях ограниченного выбора реализации дворового пространства может быть выбран оптимальный вариант в рамках разработки проекта благоустройства. Во внешнем благоустройстве жилых территорий необходимо соблюдать правила оформления и содержания придомового участка, фасадов зданий, надписей и рекламы. Организация по обслуживанию дома не должна допускать:

- ✓ крепление к наружным стенам МКД конструкций в виде указателей, баннеров и рекламных щитов без оформления соответствующего разрешения;

- ✓ складирование различных предметов в подъезде МКД на лестничных клетках и площадках;
- ✓ загромождение придомовой территории МКД (строительным и бытовым мусором);
- ✓ возведение несанкционированных дворовых строений (гаражей, ограждений парковочного места).
- ✓ во внешнем благоустройстве жилых территорий необходимо соблюдать правила оформления и содержания придомового участка, фасадов зданий, надписей и рекламы. Организация по обслуживанию дома не должна допускать:
  - ✓ крепление к наружным стенам МКД конструкций в виде указателей, баннеров и рекламных щитов без оформления соответствующего разрешения;
  - ✓ складирование различных предметов в подъезде МКД на лестничных клетках и площадках;
  - ✓ загромождение придомовой территории МКД (строительным и бытовым мусором);
  - ✓ возведение несанкционированных дворовых строений (гаражей, ограждений парковочного места).

Положения этих требований обязательны к соблюдению, как собственниками объектов недвижимости, так и арендаторами, и нанимателями. Необходимость соблюдения собственниками квартир, домов, указанной нормы влечет за собой нарушение правил техники безопасности и регламентируется:

- ✓ Постановлением Правительства РФ от 03.04.2013 N 290 «О минимальном перечне услуг и работ, необходимых для обеспечения надлежащего содержания общего имущества в многоквартирном доме, и порядке их оказания и выполнения», частью III. Работы и услуги по содержанию иного общего имущества в многоквартирном доме, п. 27;
- ✓ п. 3.2.15, п. 3.2.16 Постановления Госстроя РФ от 27 сентября 2003 г. № 170 «Об утверждении Правил и норм технической эксплуатации жилищного фонда».

Правовое регулирование благоустройства территории многоквартирных домов является важнейшим фактором для обеспечения безопасности и комфорта жильцов. Для этого владельцам необходимо соблюдать правила зонирования и оформления территории, а также учитывать интересы всех жителей МКД [14].

### **Заключение.**

Проведенные исследования позволили определить слабые стороны нормативного управления деятельностью по благоустройству и выявить основные механизмы их урегулирования, которые включают:

- 1) проведение межевания территории и государственного кадастрового учета, для определения границ и, как следствие, решения вопроса об обслуживании элементов благоустройства и финансовом участии собственников многоквартирных домов;
- 2) установление правил зонирования, для сокращения разногласий между управляющими организациями и муниципальными органами власти по вопросам содержания отдельных элементов благоустройства и эксплуатации придомовой территории;
- 3) обращение в жилищную инспекцию для проведения контроля над выполнением управляющей компанией своих обязанностей, в случае если правила благоустройства внутри дворовой среды не соблюдаются;
- 4) регулирование нормативно-правовых актов и порядка осуществления жилищных разбирательств по благоустройству.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Габрава, В. А.** Традиции и новаторство в формировании среды дворовых про-

странств / В. А. Габрава, Л. А. Михайлова // Молодой ученый. – 2022. – № 22(417). – С. 37-42.

2. **Карпушко, Е. Н.** Проблема регулирования споров в рамках реализации жилищно-коммунальных услуг / Е. Н. Карпушко, А. А. Кушнарера, А. А. Чеболтасова // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования: Материалы XII Международного научного форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников, Астрахань, 29...31 мая 2023 года. – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 552-556.

3. **Крученков, К. А.** О некоторых проблемах защиты жилищных прав / К. А. Крученков // Вестник науки. – 2022. – Т. 1. – № 6(51). – С. 241-245.

4. **Пашнина, И. В.** Общее имущество в многоквартирном доме / И. В. Пашнина, А. В. Сафонов // StudNet. – 2020. – Т. 3. – № 2. – С. 411-418.

5. **Цитман, Т. О.** Благоустройство дворовых территорий в районах жилой застройки / Т. О. Цитман, М. Д. Поташова, С. М. Петунина // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2017. – № 2(20). – С. 103-114.

6. **Митрахович, А. С.** К вопросу о решениях собраний собственников недвижимого имущества / А. С. Митрахович // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 4-4. – С. 59-62.

7. **Гармаш, Л. П.** Актуальность уточнения местоположения границ и площади земельных участков в ЕГРН / Л. П. Гармаш // Устойчивое развитие, экоинновации и "зеленые" экономика и технологии : III Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 90-летию СГЭУ: сборник материалов и докладов. – Самара, 2021. – С. 66-73. – DOI 10.24412/cl-36578-2021-3-66-73.

8. **Мурзакимова, Г. К.** Проблемы управления многоквартирными домами в настоящее время / Г. К. Мурзакимова // Молодой ученый. – 2019. – № 47(285). – С. 336-338.

9. **Шевцов, Д. А.** Общее имущество многоквартирного дома как юридический концепт / Д. А. Шевцов // Молодой ученый. – 2016. – № 10(114). – С. 1071-1073.

10. **Семенова, Д. Е.** Межевание земельных участков: современное состояние, проблемы и тенденции его развития / Д. Е. Семенова, И. А. Гиниятов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – Т. 6. – С. 226-231. – DOI 10.33764/2618-981X-2022-6-226-231.

11. **Кульков, А. А.** Проблемы формирования комфортной и безопасной среды дворового пространства в условия развития жилищного строительства / А. А. Кульков, А. А. Рогожникова // Российское предпринимательство. – 2017. – Т. 18. – № 23. – С. 3847-3862. – DOI 10.18334/gr.18.23.38637.

12. **Вакарина, С. А.** Правовой режим управления общим имуществом в многоквартирных домах / С. А. Вакарина // Вестник магистратуры. – 2015. – № 1-3(40). – С. 91-99.

13. **Соколов, А. Ю.** Проблемы законодательного регулирования административной ответственности за нарушения правил благоустройства / А. Ю. Соколов, О. А. Лакаев // Вестник Саратовской государственной юридической академии. – 2014. – № 4(99). – С. 47-51.

14. **Свердлов, Б. Б.** Вопросы нормативно-правового регулирования благоустройства в Российской Федерации / Б. Б. Свердлов // Вестник науки. – 2018. – Т. 5. – № 6(6). – С. 49-55.

*Поступила в редакцию 9 января 2024*

## **IMPROVEMENT OF THE GROUNDS IN THE CONTEXT OF TOWN PLANNING AS WELL AS IN THE SYSTEM OF LAND AND PROPERTY RELATIONS**

**E. N. Karpushko, M. O. Karpushko**

---

Elena Nikolaevna Karpushko, Cand. Sc. (Econ.), Associate Professor, Professor of the Department of Expertise and Operation of Real Estate, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, tel.: +7(8442)97-45-13; e-mail: karpushkoelena@yandex.ru

Marina Olegovna Karpushko, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Armored Vehicle Designs, Perm Military Institute of the National Guard Troops of the Russian Federation, Perm, Russia, tel.: +7(919)484-2567; e-mail: mkarpushko@gmail.com

---

The article examines a land plot as a real estate unit in the system of urban planning and land-property relations. We show theoretical and methodological foundations for carrying out improvement and land surveying when state cadastral registering of these land plots. The main characteristics of the land plot are emphasized, namely, the location of its boundaries with further identification of a specific part of the earth's surface. The key components of the grounds were classified in accordance with the rules and regulations of technical operation. We also describe the advantages of control of the grounds. We considered a land plot with the status of grounds. We identified the features of the legal regulation of housing disputes regarding the attribution of individual elements of improvement to common property, regarding the establishment of boundaries of the adjacent territory and regarding the operation of common areas in apartment buildings. We studied the main sources of the legal relations formation and the results of their implementation in the framework of ensuring the comfort and safety of the grounds of apartment buildings. As a result, we offered mechanisms for regulation and maintenance of landscaping elements and grounds based on the analysis. Finally, we drew conclusions on the need to improve the procedures for land surveying of the territory (to determine the boundaries and resolve the issue of maintenance of improvement elements and the financial participation of owners of apartment buildings). We determined the need of improvement of state cadastral registration and establishment of zoning rules (to reduce disagreements between management organizations and municipal authorities on issues of maintenance individual elements of improvement and operation of the local area). We emphasized the need of placement of improvement facilities in conditions of limited yard space. The conducted research made it possible to identify the weak points of the regulatory management of improvement activities, namely, to control legal acts and regulate arguments on housing improvement.

**Keywords:** land plot; land and property relations; improvement; legal regulation; housing disputes; borders of the adjacent territory; zoning rules.

## REFERENCES

1. **Gabrava V. A., Mikhailova L. A.** *Traditions and innovation in the formation of the environment of courtyard spaces*. Young scientist. 2022. No. 22(417). Pp. 37-42. (in Russian)
2. **Karpushko E. N., Kushnareva A. A., Cheboltasova A. A.** *The problem of regulating disputes within the framework of the implementation of housing and communal services*. The potential of intellectually gifted youth - the development of science and education Materials XII International scientific forum of young scientists, innovators, students and schoolchildren, Astrakhan, May 29...31, 2023. Astrakhan, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. 2023. Pp. 552-556. (in Russian)
3. **Kruchenkov K. A.** *About some problems of protecting housing rights*. Bulletin of Science. 2022. Vol. 1. No. 6(51). Pp. 241-245. (in Russian)
4. **Pashnina I.V., Safonov A.V.** *Common property in an apartment building*. StudNet. 2020. Vol. 3. No. 2. Pp. 411-418. (in Russian)
5. **Tsitman T. O., Potashova M. D., Petunina S. M.** *Improvement of courtyard areas in residential areas*. Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region. 2017. No. 2(20). Pp. 103-114. (in Russian)
6. **Mitrakhovich A. S.** *On the issue of decisions of meetings of owners of real estate*. Current problems of the humanities and natural sciences. 2016. No. 4-4. Pp. 59-62. (in Russian)

7. **Garmash L. P.** *Relevance of clarifying the location of the boundaries and area of land plots in the Unified State Register of Real Estate.* Sustainable development, eco-innovation and “green” economics and technologies: III All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to 90 anniversary of SSEU: collection of materials and reports. Samara. 2021. Pp. 66-73. (in Russian)
8. **Murzakimova G. K.** *Problems of managing apartment buildings at the present time.* Young scientist. 2019. No. 47(285). Pp. 336-338. (in Russian)
9. **Shevtsov D. A.** *Common property of an apartment building as a legal concept.* Young scientist. 2016. No. 10(114). Pp. 1071-1073. (in Russian)
10. **Semenova D. E., Giniyatov I. A.** *Land surveying: current state, problems and trends in its development.* Interexpo Geo-Siberia. 2022. Vol. 6. Pp. 226-231. (in Russian)
11. **Kulkov A. A., Rogozhnikova A. A.** *Problems of creating a comfortable and safe environment for courtyard space in the conditions of development of housing construction.* Russian Entrepreneurship. 2017. Vol. 18. No. 23. Pp. 3847-3862. (in Russian)
12. **Vakarina S. A.** *Legal regime for managing common property in apartment buildings.* Magistracy Bulletin. 2015. No. 1-3(40). Pp. 91-99. (in Russian)
13. **Sokolov A. Yu., Lakaev O. A.** *Problems of legislative regulation of administrative responsibility for violations of improvement rules.* Bulletin of the Saratov State Law Academy. (in Russian)
14. **Sverdlov B. B.** *Issues of legal regulation of landscaping in the Russian Federation.* Bulletin of Science. 2018. Vol. 5. No. 6(6). Pp. 49-55. (in Russian)

*Received 9 January 2024*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Карпушко, Е. Н.** Благоустройство придомовой территории в системе градостроительных и земельно-имущественных отношений / Е. Н. Карпушко, М. О. Карпушко // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 1(28). – С. 88-98. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.009.

**FOR CITATION:**

**Karpushko E. N., Karpushko M. O.** *Improvement of the grounds in the context of town planning as well as in the system of land and property relations.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 88-98. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.009. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.010

УДК 72.012:514.182

## ФРАКТАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ КАК ВАЖНЫЙ АСПЕКТ ПОВЫШЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ

С. В. Артыщенко, Д. В. Панфилов, А. Г. Чигарев, С. П. Бондарь

Артыщенко Степан Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры инноватики и строительной физики имени профессора И. С. Суворцева, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)276-39-76; e-mail: art.stepan@mail.ru

Панфилов Дмитрий Вячеславович, канд. техн. наук, заведующий кафедрой 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: panfilov\_dv@vgasu.vrn.ru

Чигарев Антон Геннадьевич, канд. геол.-минералог. наук, 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: geolant@yandex.ru

Бондарь София Павловна, студент кафедры строительных конструкций оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(904)093-85-58; e-mail: sofia.bondar16@yandex.ru

Присущий современному миру высокий темп урбанизации требует осознанного подхода к архитектурному проектированию. Человек нуждается в среде, наполняющей его новой силой и не заглушающей его творческий потенциал монотонностью и обыденностью. В связи со своим значительным сходством с естественно возникающими природными структурами фрактальная архитектура может быть рассмотрена в качестве такой среды. В статье рассмотрены признаки фрактальных систем применительно к архитектуре, выделено понятие – «принцип фрагментации фрактала», шире раскрыт термин «самоподобие». Проанализирован существующий опыт фрактальной архитектуры, на примере действующих объектов сделано предположение о взаимосвязи значения фрактальной размерности объекта с показателями успешности проекта. Сделан вывод о положительном вкладе фрактальных объектов в инновационный потенциал территории. Материалы данной статьи могут быть полезны для дальнейшего развития представлений теории создания фрактальной архитектуры.

**Ключевые слова:** архитектурное проектирование; фрактальная архитектура; фрактальные структуры; фрактал; инновационный потенциал

В последние годы особую актуальность приобретает исследование фрактальных структур и их различных приложений, что подтверждается большим количеством как фундаментальных, так и прикладных работ, некоторые из которых цитируются ниже, в настоящей работе.

Человек и окружающая его среда демонстрируют единство и взаимозависимость [1]. Преобразования окружающей среды не могут не сказываться на человеке. Архитектура является мощным инструментом создания искусственной среды обитания. И как в любой «здоровой системе» необходима согласованность ее элементов, так и между природной и искусственной средой должна существовать гармония. Согласно работе [2] разумное динамическое равновесие природы и социума дает свои результаты, которые выражаются в гармонии интеллектуальной, эмоциональной и волевой сфер личности человека. Комфортная среда является важным компонентом, влияющим на творческий потенциал человека, его способность создавать и внедрять новое, а следовательно, косвенно влияет и на инновационный потенциал данной территории, повышая способность трудящегося в ее пределах индивида создавать инновации.

Человек как биологический индивид неосознанно всегда стремится к природе, к среде, наполняющей его новой силой. Связь людей с определенными природными фрактальными паттернами положительно влияет на нервную активность человека и механизмы парасимпатической системы, этот и множество других выводов в пользу благоприятного воздействия природы на человека представлены в исследовании [3]. В статье [4] доказано, что люди демонстрируют положительную эмоциональную связь с определенным набором природных элементов и условий, а именно с растительностью (деревьями, растениями, цветами) и саваннами. В работе [2] отмечается, что увеличение искусственных объектов структурированной городской среды требует большего разнообразия и специализации проектирования для создания благоприятного диапазона комфортности такой среды. Если человеку не всегда может хватить воображения, то, как пишет по этому поводу Бенуа Б. Мандельброт в своей книге [5] «природа же никогда таким недостатком не страдала».

Заметим, что именно эта книга в 1970-х годах стала бестселлером автора и фундаментально поменяла мировоззрение по отношению к природе, открыв большую перспективу исследованиям в различных научных сферах, где архитектура не стала исключением. Так образовалось направление «фрактальной архитектуры», в основе своей философии удовлетворяющее потребности в гармонии с природой.

Бенуа Б. Мандельброт в 1975 году ввел термин «фрактал», соответствующий глаголу *frangere* (ломать, разламывать). Фрактал – это сложная структура, пространственная форма которой изломана и нерегулярна или регулярна; хаотична или упорядочена и повторяет саму себя в любом масштабе [5]. Фрактальная структура имеет прочные связи и ее признаками являются:

- ✓ самоподобие (иерархический принцип организации);
- ✓ способность к развитию (принцип непрерывности формообразования);
- ✓ дробная метрическая размерность (принцип сингулярности меры);
- ✓ размытость, нечеткость контуров (принцип неопределенности границ);
- ✓ геометрическое представление хаотической динамики (принцип динамического хаоса) [6].

Фрактал в архитектуре – это геометрически самоподобный объект [7]. Несмотря на физическую невозможность бесконечного разбиения и объединения в уже реальных объектах, данный признак все-таки находит свое значение во фрактальной архитектуре.

Во-первых, фрактальная структура может иметь последующее развитие в периферийном направлении взамен развития внутри. В качестве примера близкой к фракталам структуры можно привести хорошо известную мозаику Пенроуза [8]. Во-вторых, если рассматривать архитектурный объект, как результат проекта, а проект впоследствии можно модернизировать и возвести на другой локации, то сам проект приобретает признак бесконечности.

В архитектуре классифицируют естественную и искусственную фрактальную архитектуру [9]. Естественная создана природой, в частности природный ландшафт, флора и фауна. Искусственная – возведена человеком. В свою очередь, искусственную разделяют на интуитивную и сознательно созданную. Последняя предполагает осознанное применение фракталов в проектировании. Однако, изучая множество шедевров архитектуры, можно заметить существование в них четкой фрактальной структуры, несмотря на то, что теории фрактальности еще не существовало – это и есть интуитивная фрактальная архитектура. Часто именно интуиция истинно талантливого архитектора и природное духовное естество человека подсказывают ему верное направление. Так, например, узор (гирх), украшающий древнюю мечеть на территории современного Ирана в провинции Исфахан [10], построенную в 1453 году, сильно напоминает по своей структуре мозаики Пенроуза [8], с теорией которых зодчие того времени вряд ли были знакомы.

Фрактальная архитектура имеет большие перспективы развития. Ее актуальность в

первую очередь обуславливается благоприятным воздействием на человека, созданием комфортной среды для развития личности, что невероятно важно в сложившейся современной ситуации, вызванной быстрым темпом урбанизации. Фракталы благодаря своей природной оригинальности могут служить бесконечным источником вдохновения для архитекторов

Следует отметить, что фрактальные структуры в архитектурном проектировании находят применения как в двумерной, так и в трехмерной системах.

В работах основателя «органической архитектуры» Фрэнка Ллойда Райта, идеей которого является целостность и единение с природой, можно проследить умелое использование фракталов. На рис. 1 представлен план Palmer House, фрактальной единицей в данной работе является равносторонний треугольник, который повторяется в плане не менее, чем в 7 разных масштабах.

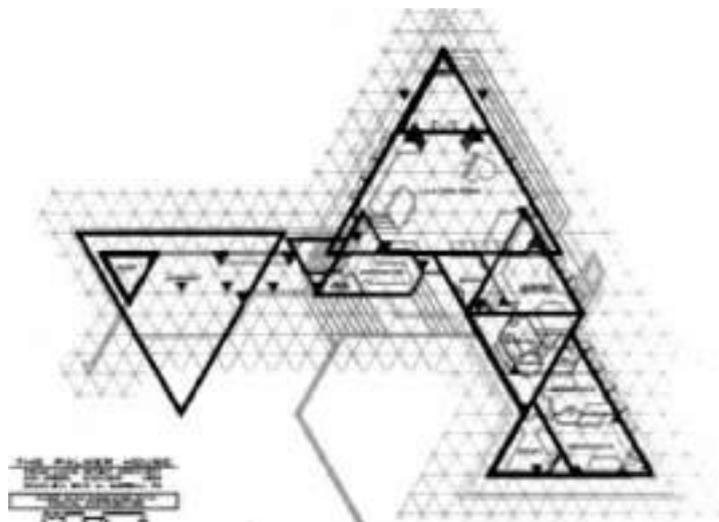


Рис. 1. План Palmer House. Рисунок Eric Murrell из [11]

Работы еще одного архитектора впечатляют своей фрактальностью. Цви Хекер – израильский архитектор. В одном из своих интервью признается, что ему нравится архитектура Фрэнка Ллойда Райта. Но сравнивать Цви Хекер с кем-то будет не уместно, так как его работы уникальны. На рис. 2 и рис. 3 представлен один из выдающихся его проектов – школа имени Хайнца Галинского в Берлине (1995 г.). Первоначальной концепцией архитектора были лучи солнца и цветок подсолнечника, который по своей природе является одним из представителей фракталов. При возведении школы, переходя в трехмерную систему из видов плана, здание неожиданно стало приобретать новую форму – книгу, открытые страницы которой несут на себе нагрузку постройки.

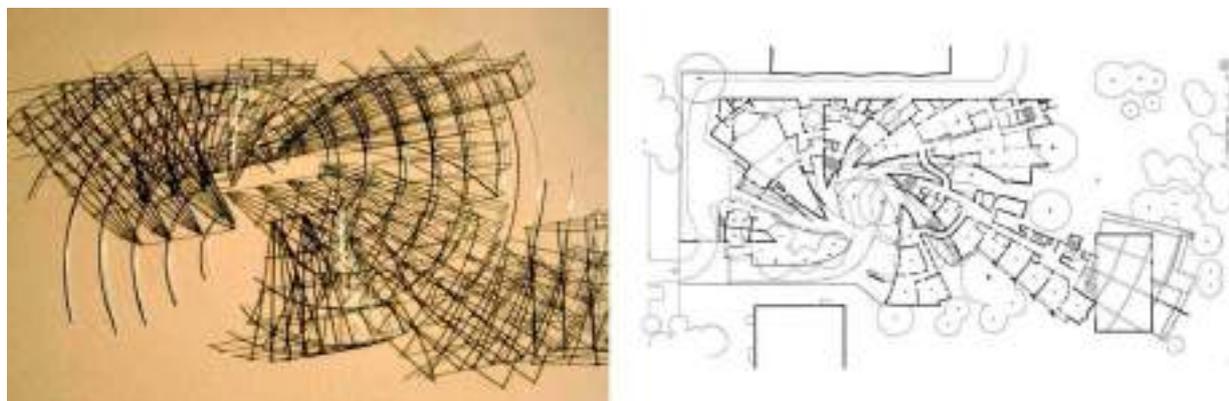


Рис. 2. Эскиз и план школы имени Хайнца Галинского в Берлине

В данном примере фрактальная архитектура продемонстрировала характерные ей признаки непрерывности формообразования и геометрическое представление хаотической динамики даже на стадии строительства, что не помешало, а, напротив, содействовало успешности данного проекта.



Рис. 3. Школа имени Хайнца Галинского, вид сверху

В процессе изучения фрактальной архитектуры, непроизвольно выделяется такой принцип, как *фрагментация фрактала*. Во фрактальной архитектуре не обязательно использовать «чистый» фрактал с бесконечной структурой в связи с физической ограниченностью архитектуры, возможен вариант фрагментального использования элементов структуры фрактала в архитектурном проектировании. Фрагментация позволяет сохранить мотивы фрактальной структуры, ее природность и оригинальность одновременно внедряя такую архитектуру в рамки реальности.

Следующий принцип, который следует уточнить во фрактальной архитектуре – это самоподобие. Бенуа Б. Мандельброт неспроста выбрал именно этот термин для объяснения системности фрактальной структуры [5]. Самоподобие – это не всегда точная копия или пропорционально отмасштабированная копия. Самоподобие фрактала может выражаться не только в строгой инвариантности пространственной формы, но и в *условном самоподобии* с оттенком случайности и природности.

В 2018 году в США по проекту архитектурной фирмы Allied Works Architecture завершилось строительство мемориального комплекса Veterans Memorial and Museum. Данный комплекс еще на стадии проекта получил международное признание за инновационный дизайн и был назван журналом Architectural Digest одним из самых ожидаемых зданий 2018 года [The 12 Most Anticipated Buildings of 2018: ADPRO. Architectural digest: сайт. – 2017. – URL: <https://www.architecturaldigest.com/gallery/most-anticipated-buildings-of-2018>]. Архитектура комплекса представлена в форме плавноизогнутых дуг, закрученных вокруг своей оси, кроме того, идея спирали, стремящейся в небо, продолжается и в формировании дизайна интерьера. Если взглянуть на план мемориального комплекса (рис. 4), можно заметить стилизацию линий завиткового отпечатка пальца. Данная работа наглядно демонстрирует применение принципа фрагментальности фрактала в архитектуре, и его интеграцию в существующий ландшафт (рис. 5).

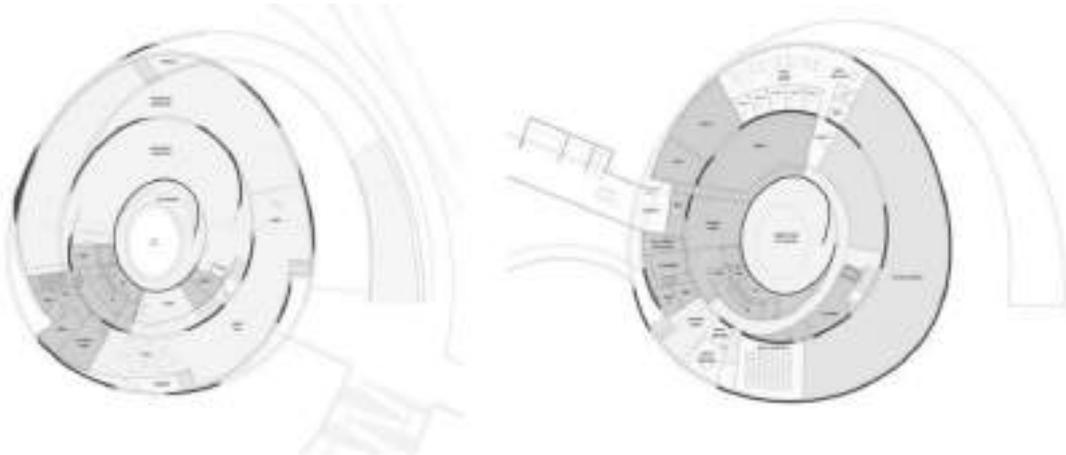


Рис. 4. Планы мемориального комплекса Veterans Memorial and Museum



Рис. 5. Внешний вид мемориального комплекса Veterans Memorial and Museum

Еще одним важным понятием во фрактальных системах является размерность. Фрактальная размерность – это статистическая величина, которая показывает, насколько полно фрактал заполняет пространство при приближении к более мелким масштабам [12]. При анализе фрактальной архитектуры чаще всего используется метод ячеистого вычисления фрактальной размерности DB (the box counting fractal dimension method), заключающийся в последовательном наложении сетки, с уменьшением масштаба и подсчетом количества ячеек. Расчет выражается формулой:

$$DB(1-2) = [\ln N(s_2) - \ln N(s_1)] / [\ln(1/s_2) - \ln(1/s_1)]$$

или

$$DB(1-2) = [\ln N(s_2) - \ln N(s_1)] / [\ln(s_1/s_2)]$$

или

$$DB(1-2) = \ln[N(s_2) / N(s_1)] / [\ln(s_1/s_2)],$$

где  $S$  – размер сетки,  $N$  – количество ячеек, покрывающих детали изображения [13].

Согласно источнику [14] уровень фрактальности считается высоким, если  $D$  больше 1. Фрактальная архитектура демонстрирует хорошее практическое соответствие вышеуказанным принципам. Убедимся в этом на примере построенного в Пекине комплекса Galaxy SOHO по проекту Захи Хадид (рис. 6).

Постройка получила международную награду Королевского института британских архитекторов (RIBA), кроме того, вошла в шорт-лист еще одной награды, вручаемой RIBA – премии имени Бертольда Лубеткина и является одним из лучших проектов именитого архитектора. Комплекс состоит из объемных куполообразных элементов, плавно соединенных между собой на разных уровнях. Создается ощущение непрерывного движения, преобразования, перехода из одного состояния в другое. Если посмотреть на здания сверху, то заметно, что они образуют криволинейную структуру из самоподобных оваль-

ных элементов. Фрактальность наблюдается как в планах комплекса, так и в разрезах зданий.

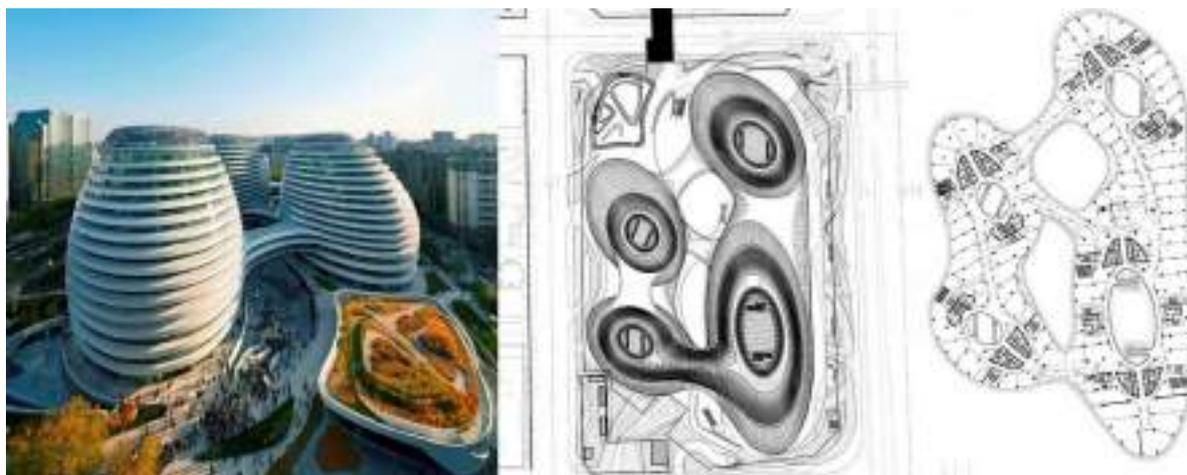


Рис. 6. Galaxy SOHO – фото, вид сверху, план

Исследуем взаимосвязь успешности комплекса Galaxy SOHO с фрактальной размерностью. Вычислим фрактальную размерность его плана с помощью метода ячеистого вычисления. Для этого на план последовательно нанесем сетки с разной размерностью (1/5, 1/10, 1/20, 1/40) (рис.7) и, посчитав количество ячеек, выполним расчеты по формуле (1).

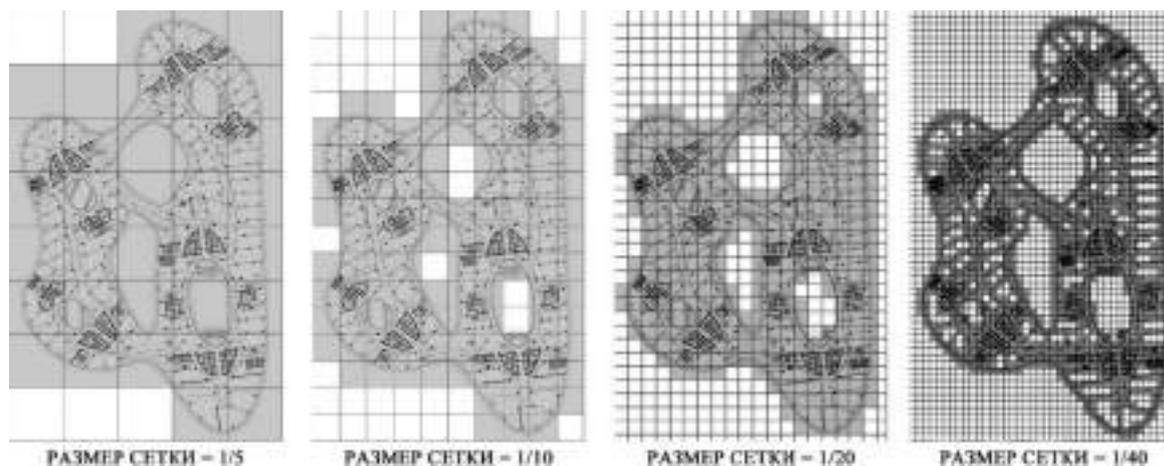


Рис. 7. Варианты сеток с различной размерностью на примере плана Galaxy SOHO

В ходе расчета получены близкие численные показатели:  $D(5-10)=1,691$ ;  $D(10-20)=1,824$ ;  $D(20-40)=1,668$ . Согласованность полученной фрактальной размерности между исследуемыми масштабами подтверждает гармонию фрактальных характеристик элементов плана. Средняя фрактальная размерность плана комплекса ( $D$ )=1,728, что больше 1, соответственно, согласно методике уровень фрактальности считается высоким. Данный результат позволяет сделать предположение о взаимосвязи успешности проекта с фрактальной размерностью. Этих представления весьма интересны, и они получают развитие в последующих работах авторов.

Кроме того, помимо просто комфортности и органичности, которые были отмечены выше применительно к фрактальным структурам в архитектуре и строительстве, такие структуры несут совершенно очевидную инновационную направленность, футуристичность и нацеленность в будущее, способствуя тем самым формированию инновационного ландшафта, органично влияющего на способность действующего в нем индивида, в свою очередь создавать инновации. Неслучайно крупные инновационные корпорации уделяют

достаточное внимание тому, чтобы их корпоративные здания имели инновационный интерьер и экстерьер.

В более широком смысле повышение творческого потенциала отдельных людей и коллективов за счет создания комфортной среды на основе таких инновационных форм как фрактальные структуры можно отнести к методам повышения инновационного потенциала территории, на которой это реализуется [15].

Также можно говорить о том, что здесь может иметь место эффект положительной обратной связи, когда индивид окруженный инновационным архитектурным ландшафтом сам, в свою очередь, создает инновации и, в том числе, развивает инновационность окружающего архитектурного ландшафта.

### **Заключение.**

Выделено новое понятие – принцип фрагментации фрактала в архитектуре, позволяющий внедрить фрактальные структуры в рамки реальности архитектурного проектирования без потери преимуществ таких структур. Кроме того, подробнее раскрыт термин самоподобия фракталов применительно к архитектуре.

На основе анализа успешного проекта с применением фрактальных структур в архитектурном проектировании, с помощью метода ячеистого вычисления фрактальной размерности, выдвинуто предположение о наличии взаимосвязи между степенью фрактальности и успешностью проекта.

Отмечено, что помимо просто комфортности и органичности, которые были выявлены применительно к фрактальным структурам в архитектуре и строительстве, такие структуры несут совершенно очевидную инновационную направленность, футуристичность и нацеленность в будущее, способствуя тем самым формированию инновационного ландшафта, органично влияющего на способность действующего в нем индивида, в свою очередь создавать инновации.

Представления, развиваемые в настоящей работе, могут иметь практические приложения в области фрактальной архитектуры в связи с тем, что применение фрактальных структур в архитектурном проектировании – это перспективное направление архитектуры будущего.

---

*Авторы выражают глубокую признательность члену Союза архитекторов России Ангелине Ткачук за полезное обсуждение результатов работы.*

---

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Кужанова, Н. И.** Человек и окружающая среда (архитектурный, психологический и экологические аспекты): учебное пособие / Н. И. Кужанова, Е. М. Кривошеина. – СПб: Издательство Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 2003. – 173 с.

2. **Стерлигова, Е. А.** Экологическая психология: учебное пособие / Е. А. Стерлигова. – Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2012. – 212 с.

3. The economics of biophilia / B. Browning, C. Garvin, C. Ryan, N. Kallianpurkar, L. Labruto, S. Watson, T. Knop. – Terrapin Bright Green LLC, 2012.

4. **Joye, Y.** Fractal Architecture Could Be Good for You / Y. Joye // Nexus Network Journal. – 2007. – Vol. 9. – No. 2.

5. **Мандельброт, Б.** Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – Москва: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.

6. **Шредер, М.** Фракталы, хаос, степенные законы: миниатюры из бесконечного рая / М. Шредер. – Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2005. – 527 с.
7. **Самченко, А. Г.** Фракталы и фрактальные структуры в объемно-пространственном решении объектов архитектуры / А. Г. Самченко // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, 2015. – № 3(113). – С. 58-61.
8. **Гарднер, М.** От мозаик Пенроуза к надежным шифрам: / М. Гарднер. – М.: Мир, 1993. – 416 с.
9. **Бабич, В. Н.** Фрактальные структуры в планировке и застройке города / В. Н. Бабич, В. А. Колясников // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2009. – № 2. – С. 47.
10. **Lu, P. J.** Decagonal and Quasi-Crystalline Tilings in Medieval Islamic Architecture. / P. J. Lu, P. J. Stenhardt. // Science. – 2007. – Vol. 315. – Pp. 1106-1110. – DOI: 10.1126/science.1135491.
11. **Eaton, L. K.** Fractal Geometry in the Late Work of Frank Lloyd Wright: the Palmer House. Nexus II / L. K. Eaton // Architecture and Mathematics, Edizioni Dell’Erba, Fucecchio, 1998. – Pp. 23-38.
12. **Lu, Xiaoshu** Fractal Geometry and Architecture Design: Case Study Review / Lu Xiaoshu, Clements-Croome Derek, Viljanen Martti // Chaotic Modeling and Simulation (CMSIM). – 2012. – Vol. 2. – Pp. 311-322.
13. **Bovill, C.** Fractal geometry in architecture and design / C. Bovill. – Bosten: Birkhäuser, 1996. – 73-92 p.
14. Фрактальная геометрия и ее применения в анализе архитектурных объектов / Д. Халед, И. Альдин, М. Ю. Шишин, С. Б. Поморов. – LAP LAMBERT Academic Publishing, AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG. – 2013. – 93 с.
15. Инновационный потенциал предприятия: структура, значение, влияющие факторы / С. В. Артыщенко, Е. А. Серебрякова, И. С. Артыщенко, С. А.Баев, Е. И. Радинская // Проектное управление в строительстве. – 2023. – № 4. – С. 60-68.

*Поступила в редакцию 8 февраля 2024*

## **FRACTAL STRUCTURES AS AN IMPORTANT ASPECT OF INCREASING THE INNOVATIVE POTENTIAL OF A TERRITORY**

**S. V. Artyshchenko, D. V. Panfilov, A. G. Tchigarev, S. P. Bondar**

---

Stepan Vladimirovich Artyshchenko, Cand. Sc. (Phys. and Math.), Associate Professor at the Department of Innovation and Construction Physics named after Professor I. S. Surovtsev, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)276-39-76; e-mail: art.stepan@mail.ru

Dmitriy Vyacheslavovich Panfilov, Cand. Sc. (Techn.), Head of the Department of Building Structures and Foundations named after Professor Y. M. Borisov, Dean of faculty of construction, Voronezh state technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-53-21; e-mail: panfilov\_dv@vgasu.vrn.ru

Anton Gennadievich Tchigarev, Cand. Sc. (Geol. and Mineral.), Associate Professor at the Department of Building Structures and Foundations named after Professor Y. M. Borisov, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-53-21; e-mail: geolant@yandex.ru

Sofia Pavlovna Bondar, post-graduate student at the Department of Building Structures and Foundations named after Professor Y. M. Borisov, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(904)093-85-58; e-mail: sofia.bondar16@yandex.ru

---

The high rate of today’s urbanization requires a conscious approach to architectural design. A person needs an environment which fills him with new strength and does not drown out his creative potential with monotony and routine. Due to its significant similarity to seamlessly occurring natural structures, fractal architecture can be considered as a medium for it. In the article we discuss the characteristics of fractal systems in relation to architecture, highlight the concept of “the principle of fractal fragmentation”, and also expand the concept of

“self-similarity”. In addition, we analyzed the existing experience of fractal architecture, and using the example of existing facilities we made an assumption about the relationship between the value of the fractal dimension of a facility and the indicators of future design success. We made a conclusion about the positive contribution of fractal facilities to the innovative potential of the territory. The materials of this article may be useful for further development of the concepts of the theory of creating fractal architecture

**Keywords:** architectural design; fractal architecture; fractal structures; fractal; innovation potential.

## REFERENCES

1. **Kuzhanova N. I., Krivosheina E. M.** *Man and the environment (architectural, psychological and environmental aspects): textbook*. St. Petersburg, Publishing House of St. Petersburg State Polytechnic University. 2003. 173 p. (in Russian)
2. **Sterligova E.A.** *Environmental psychology: textbook. Allowance*. Perm, Perm State national research univ. 2012. 212 p. (in Russian)
3. **Browning B., Garvin C., Ryan C., Kallianpurkar N., Labruto L., Watson S., Knop T.** *The economics of biophilia*. Terrapin Bright Green LLC. 2012.
4. **Joye Y.** *Fractal Architecture Could Be Good for You*. Nexus Network Journal. Vol. 9. No. 2. 2007.
5. **Mandelbrot B.** *Fractal geometry of nature*. Moscow, Institute of Computer Research. 2002. 656 p. (in Russian)
6. **Schroeder M.** *Fractals, chaos, power laws: miniatures from an infinite paradise*. Izhevsk, Regular and chaotic dynamics. 2005. 527 p. (in Russian)
7. **Samchenko A. G.** *Fractals and fractal structures in the volumetric-spatial solution of architectural objects*. Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. 2015. No. 3(113). Pp. 58-61. (in Russian)
8. **Gardner M.** *From Penrose mosaics to reliable ciphers*. Moscow, Mir. 1993. 416 p. (in Russian)
9. **Babich V. N., Kolyasnikov V. A.** *Fractal structures in city planning and development*. Academic bulletin UralNIIproekt RAASN. 2009. No. 2. 47 p. (in Russian)
10. **Lu P. J., Stenhardt P. J.** *Decagonal and Quasi-Crystalline Tilings in Medieval Islamic Architecture*. Science. 2007. Vol. 315. Pp. 1106-1110. DOI: 10.1126/science.1135491.
11. **Eaton L.** *Fractal Geometry in the Late Works of Frank Lloyd Wright*. in *Nexus II: Architecture and Mathematics*. Edizioni Dell’Erba. 1998. Pp. 23-38.
12. **Lu Xiaoshu, Clements-Croome Derek, Viljanen Martti** *Fractal Geometry and Architecture Design*. Case Study Review. Chaotic Modeling and Simulation (CMSIM). 2012. Vol. 2. Pp. 311-322.
13. **Bovill C.** *Fractal geometry in architecture and design*. Bosten. Birkhäuser. 1996. Pp. 73-92 .
14. **Khaled D. Aldin I., Shishin M.Yu., Pomorov S.B.** *Fractal geometry and its applications in the analysis of architectural objects*. LAP LAMBERT Academic Publishing. AV Akademikerverlag GmbH & Co. 2013. 93 p. (in Russian)
15. **Artyshchenko S. V., Serebryakova E. A., Baev S. A., Artyshchenko I. S., Radinskaya E. I.** *Innovative potential of the enterprise: structure, value, influencing factors*. Design management in construction. 2023. No. 4. Pp. 60-68. (in Russian)

*Received 8 February 2024*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

Фрактальные структуры как важный аспект повышения инновационного потенциала территории / С. В. Артыщенко, Д. В. Панфилов, А. Г. Чигарев, С. П. Бондарь // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 1(28). – С. 99-108. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.010.

**FOR CITATION:**

**Artyshchenko S. V., Panfilov D. V., Tchigarev A. G., Bondar S. P.** *Fractal structures as an important aspect of increasing the innovative potential of a territory.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 99-108. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.010. (in Russian)

## ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.011

УДК 504.064.4

### АНАЛИЗ ФРАКЦИОННОГО И МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА ПРИМЕРЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Т. Г. Серeda, С. Н. Костарев

Серeda Татьяна Геннадьевна, д-р техн. наук, профессор кафедры строительных технологий, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, Пермь, Российская Федерация, тел.: +7(342)217-93-22

Костарев Сергей Николаевич, д-р техн. наук, профессор кафедры зоотехники, Пермский институт ФСИН России, профессор кафедры информатики, Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация, тел.: +7(906)878-39-29, e-mail: iums@dom.raid.ru

Для проектирования объектов, связанных с переработкой и утилизацией отходов необходимо иметь информацию о фракционном и морфологическом составе твердых коммунальных отходов. Несмотря на некоторые успехи по разработке сортировочных комплексов, значительная часть твердых коммунальных отходов (ТКО) утилизируется на полигонах. Приведены результаты исследований по составу отходов на примере Пермского края, проводимые в 2020 г. Было исследовано 42 компонента отходов, разбитые на 12 категорий. Исследования проводились на примере двух населённых пунктов с численностью менее 300 000 человек (деревня Кондратово) и численностью свыше 500 000 человек (г. Пермь). Представлены результаты анализа фракционного и морфологического состава ТКО по сезонам года. Определено процентное соотношение разлагаемых, трудноразлагаемых и неразлагаемых фракций в исследуемых пробах. Результаты, полученные в работе, могут быть полезны для технико-экономического обоснования проектирования объектов по переработке и захоронению ТКО.

**Ключевые слова:** отходы; твердые коммунальные отходы; фракционный состав отходов, вторичное сырьё.

На пороге третьего тысячелетия намечается изменение в морфологическом составе отходов: упаковка переходит из бумажной фракции в полиэтиленовую, тара со стеклянной заменяется на полимерную, в связи с чем анализ морфологического состава твердых коммунальных отходов (ТКО) становится актуальным [1].

Для формирования модели трансформации ТКО выделим следующие компонентные группы твердых коммунальных отходов:

- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| $O = \{o_1, o_2\}$                | – множество элементов органических отходов;    |
| $M = \{m_1, m_2, \dots, m_7\}$    | – множество элементов макулатуры;              |
| $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{10}\}$ | – множество элементов полимеров;               |
| $C = \{c_1, c_2, c_3, c_4\}$      | – множество элементов стекла;                  |
| $ME = \{me_1, mm_2, mm_3, mm_4\}$ | – множество элементов металлов;                |
| $T = \{t_1, t_2\}$                | – множество элементов текстиля;                |
| $D = \{d_1\}$                     | – дерево;                                      |
| $K = \{k_1, k_2, k_3\}$           | – множество элементов из различного материала; |
| $OM = \{om_1, om_2, om_3\}$       | – множество элементов опасных материалов;      |

$I = \{i_1, i_2\}$  – множество элементов инертных материалов;  
 $K = \{k_1, k_2, k_3\}$  – множество элементов прочих материалов;  
 $O_T = \{o_{T_1}\}$  – отсев.

Основные потоки ТКО по степени дальнейшей утилизации отходов можно распределить на следующие группы [2, 3]: рециклинг отходов, использование в качестве вторсырья (V) и захоронение на полигонах ТКО (L) (рис. 1).

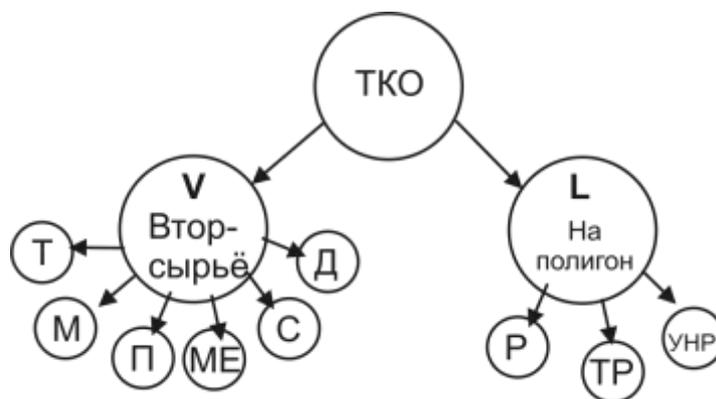


Рис. 1. Основные потоки ТКО:  
 V – на вторсырьё; L – захоронение на полигоне ТКО (Р – разлагаемые, ТР – трудноразлагаемые, УНР – условно неразлагаемые)

Для определения показателей компонентных групп были проведены замеры по накоплению ТКО на примере Пермского края в период проведения исследований 2020 года.

#### Фракционный анализ потоков ТКО

В ходе годовых исследований по г. Перми отобрано и отсортировано за 4 сезона 5144,71 кг (в весенний – 1348 кг, в летний – 1184 кг, в осенний – 1313 кг, в зимний – 1299,71 кг).

Круговые диаграммы сводных данных по процентному содержанию различных фракций в составе проб ТКО по сезонам года (г. Пермь) показаны на рис. 2.

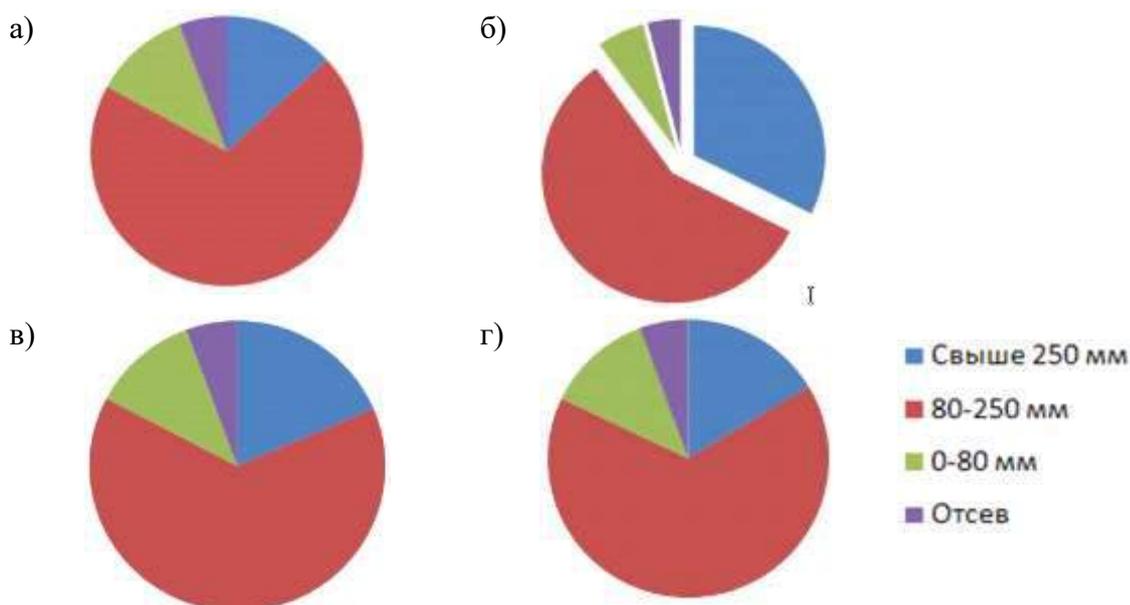


Рис. 2. Круговые диаграммы сводных данных по процентному содержанию различных фракций в составе проб ТКО в весенний (а), летний (б), осенний (в) и зимний (г) сезоны (г. Пермь)

При проведении экспериментальных исследований в дер. Кондратово было отобрано и рассортировано 1303 кг ТКО в весенний сезон, 1189 кг ТКО в летний сезон, 1198 кг в осенний сезон, 1239,18 кг – в зимний сезон. Всего в ходе годовых исследований в дер. Кондратово отобрано и отсортировано за 4 сезона 4929,18 кг ТКО.

Круговые диаграммы сводных данных по процентному содержанию различных фракций в составе проб ТКО по сезонам года (дер. Кондратово) показаны на рис. 3.

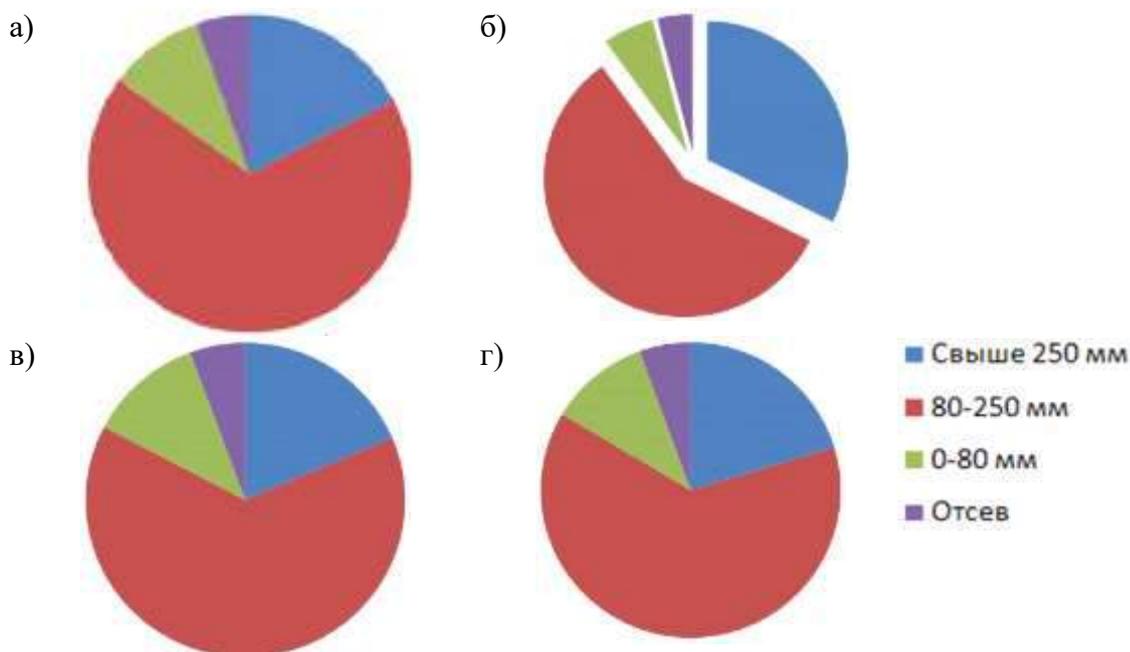


Рис. 3. Круговые диаграммы сводных данных по процентному содержанию различных фракций в составе проб ТКО в весенний (а), летний (б), осенний (в) и зимний (г) сезоны (дер. Кондратово)

Сравнительные данные по фракционному составу проб ТКО в весенний, летний, осенний и зимний сезоны для г. Перми и дер. Кондратово представлены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1

Анализ фракционного состава в пробах ТКО (г. Пермь) по сезонам

Сезон	Среднее содержание фракции, %			
	Свыше 250 мм	80...250 мм	20...80 мм	Отсев менее 20 мм
Весенний	13,23	69,61	11,41	5,75
Летний	14,56	74,27	6,71	4,46
Осенний	14,14	69,01	11,03	5,82
Зимний	16,37	65,68	12,31	5,64
Средний показатель	14,575	69,64	10,365	5,42

Таблица 2

Анализ фракционного состава в пробах ТКО (дер. Кондратово) по сезонам

Сезон	Среднее содержание фракции, %			
	Свыше 250 мм	80...250 мм	20...80 мм	Отсев менее 20 мм
Весенний	17,42	67,95	9,59	5,04
Летний	32,4	57,63	5,9	4,07
Осенний	18,57	64,1	11,69	5,64
Зимний	20,34	63,24	10,87	5,55
Средний показатель	22,18	63,23	9,51	5,08

*Морфологический анализ потоков ТКО*

В результате экспериментальных исследований определен компонентный (морфологический) состав твердых коммунальных отходов для двух групп населенных пунктов Пермского края. В табл. 3 представлены средние показатели компонентов в составе исследованных ТКО по четырем сезонам и среднегодовой показатель.

Таблица 3

Средние показатели компонентов в составе исследованных ТКО по сезонам и среднегодовой показатель

Наименование компонента	Содержание компонента, % средний показатель				
	Весенний сезон	Летний сезон	Осенний сезон	Зимний сезон	Средне-годовой показатель
<b>Органические отходы (О)</b>					
Пищевые отходы (о <sub>1</sub> )	22,87	27,076	38,191	21,252	27,347
Растительные отходы( о <sub>2</sub> )	4,89	1,67	3,550	0,682	2,698
<b>Макулатура (М)</b>					
Картон крупный (м <sub>1</sub> )	1,88	2,32	1,431	2,583	2,054
Картон мелкий (м <sub>2</sub> )	2,24	1,74	2,099	2,515	2,148
Офисная бумага (м <sub>3</sub> )	1,27	0,218	0,166	1,057	0,678
Газетная бумага (м <sub>4</sub> )	0,38	0,304	0,307	0,788	0,445
Книги и тетради (м <sub>5</sub> )	0,10	0,83	0,344	1,059	0,582
Глянцевая бумага (м <sub>6</sub> )	0,15	0,222	0,154	0,353	0,22
Прочая макулатура (м <sub>7</sub> )	4,40	4,92	4,592	5,391	4,826
<b>Полимеры (П)</b>					
Полиэтиленовые пленки (п <sub>1</sub> )	8,88	3,522	2,853	5,778	5,258
Полипропиленовые пленки (п <sub>2</sub> )	0,84	0,513	0,282	0,307	0,486
Металлизированные и многослойные пленки(п <sub>3</sub> )	0,1	0,326	0,609	0,367	0,351
ПЭТ-бутылка прозрачная (п <sub>4</sub> )	2,58	2,401	1,652	3,192	2,456
ПЭТ-бутылка зеленая (п <sub>5</sub> )	0,63	0,531	0,401	0,833	0,599
ПЭТ-бутылка синяя (п <sub>6</sub> )	0,001	0,046	0,127	0,133	0,077
ПЭТ-бутылка темная (п <sub>7</sub> )	0,85	0,738	0,763	1,359	0,928
Поликарбонатная бутылка (п <sub>8</sub> )	0,23	0,75	0,733	1,055	0,692
Полимерная упаковка (п <sub>9</sub> )	5,65	3,222	3,496	5,64	4,502
Прочие пластмассы (п <sub>10</sub> )	1,56	1,122	1,167	1,966	1,454
<b>Стекло(С)</b>					
Стеклотара прозрачная (с <sub>1</sub> )	6,61	7,679	5,946	6,478	6,678
Стеклотара зеленая или синяя (с <sub>2</sub> )	2,11	2,917	2,017	3,36	2,601
Стеклотара темная (с <sub>3</sub> )	2,33	2,567	1,722	2,961	2,395
Прочее стекло (с <sub>4</sub> )	0,85	1,523	1,146	1,631	1,288

Окончание табл. 3

Наименование компонента	Содержание компонента, % средний показатель				
	Весенний сезон	Летний сезон	Осенний сезон	Зимний сезон	Средне-годовой показатель
<b>Металлы (М)</b>					
Алюминиевая банка (м <sub>1</sub> )	1,05	1,271	0,368	1,038	0,932
Жестяная банка (м <sub>2</sub> )	0,98	0,623	0,591	1,114	0,827
Черный металлолом (м <sub>3</sub> )	0,21	0,464	0,343	0,288	0,326
Цветной металлолом (м <sub>4</sub> )	0,005	0,063	0,013	0,08	0,04
<b>Текстиль (Т)</b>					
Одежда (т <sub>1</sub> )	3,76	3,804	2,728	3,67	3,491
Прочий текстиль (т <sub>2</sub> )	2,44	4,302	2,77	2,341	2,963
<b>Дерево (Д)</b>					
Дерево (д <sub>1</sub> )	1,82	1,32	1,371	0,662	1,293
<b>Комбинированные материалы (К)</b>					
Комбинированная упаковка (к <sub>1</sub> )	0,22	0,493	0,398	1,697	0,702
Бытовые приборы, Электронные отходы (к <sub>2</sub> )	1,08	1,206	1,187	1,675	1,287
Прочие комбинированные материалы (к <sub>3</sub> )	0	0,292	0,49	0,557	0,335
<b>Опасные материалы (ОМ)</b>					
Лампы, термометры, ртутьсодержащие отходы (ом <sub>1</sub> )	0,004	0,006	0,012	0,01	0,008
Батарейки, аккумуляторы, элементы питания (ом <sub>2</sub> )	0,03	0,025	0,01	0,039	0,026
Опасная бытовая химия, лекарства, медицинские отходы (ом <sub>3</sub> )	0,02	0,005	0,037	0,019	0,02
<b>Инертные материалы (И)</b>					
Строительные отходы (и <sub>1</sub> )	2,24	4,6	2,061	2,054	2,739
Прочие инертные материалы (и <sub>2</sub> )	0,64	1,52	1,195	0,708	1,016
<b>Прочее (Пр)</b>					
Подгузники (пр <sub>1</sub> )	5,17	3,90	3,696	4,018	4,196
Кожа, резина, обувь (пр <sub>2</sub> )	1,75	3,4	1,421	1,607	2,045
Прочее пр <sub>3</sub>	1,79	1,38	1,826	2,086	1,771
<b>Отсев (От)</b>					
Отсев (менее 20 мм) (от <sub>1</sub> )	5,39	4,28	5,735	5,599	5,251

Анализ исследований выявил наличие следующих утилизируемых компонентов, входящих в состав ТКО, которые можно использовать для вторсырья:

- ✓ макулатура, не загрязненная пищевыми отходами;

- ✓ полимерные отходы, в виде полиэтиленовых (ПЭТ) и поликарбонатных бутылок (емкостей);
- ✓ металл, включающий в себя в основном алюминиевые и жестяные банки;
- ✓ текстиль, в который входит одежда и прочий текстиль;
- ✓ стеклотара.

Проведенные сортировка и взвешивание полезных компонентов показали, что основная утилизируемая часть бумаги и картона входят в крупную (свыше 250 мм) и среднюю (250...80 мм) фракции, ПЭТ и поликарбонатные бутылки, стеклотара, металлы представлены средней фракцией, а текстиль содержится в большой степени в крупной и средней фракциях.

В связи с тем, что основная масса ТКО утилизируется в дальнейшем на полигонах ТКО, условно все отходы были разделены на три составные части по степени биодеструкции [4...6]:

- ✓ разлагаемые – пищевые и растительные отходы;
- ✓ трудноразлагаемые – макулатура, дерево, текстиль, комбинированные материалы, отсев
- ✓ условно неразлагаемые – полимеры, стекло, металлы, инертные материалы, прочие материалы [2].

Таким образом, процентное содержание утилизируемых компонентов в исследуемых пробах Пермского края составляет:

- ✓ в весенний сезон 53,91 %;
- ✓ в летний – 50,142 %;
- ✓ в осенний – 40,19 %;
- ✓ в зимний – 57,999 %.

Процентное содержание органических отходов, относящихся к разлагаемым компонентам составляет:

- ✓ в весенний сезон 27,76 %;
- ✓ в летний сезон – 28,746 %;
- ✓ в осенний – 41,741 %;
- ✓ в зимний – 21,934 %.

Процентное содержание трудноразлагаемых компонентов составляет:

- ✓ в весенний сезон составило: макулатура – 10,42 %, дерево – 1,82 %, текстиль – 6,2 %, комбинированные материалы – 1,30 %, отсев – 5,39 %;
- ✓ в летний сезон составило: макулатура – 10,446 %, дерево – 1,323 %, текстиль – 8,106 %, комбинированные материалы – 1,991 %, отсев – 4,277 %;
- ✓ в осенний сезон составило: макулатура – 9,094 %, дерево – 1,371 %, текстиль – 5,497 %, комбинированные материалы – 2,074 %, отсев – 5,735 %;
- ✓ в зимний сезон составило: макулатура – 13,746 %, дерево – 0,662 %, текстиль – 6,011 %, комбинированные материалы – 3,928 %, отсев – 5,599 % (Итого – 29,946 %).

Процентное содержание условно неразлагаемых компонентов ТКО составляет:

- ✓ в весенний сезон соответственно: полимеры – 21,32 %, стекло – 11,90 %, металлы – 2,25 %, инертные – 2,88 % и прочие – 8,71 %;
- ✓ в летний сезон соответственно: полимеры – 13,171 %, стекло – 14,675 %, металлы – 2,421 %, инертные – 6,12 % и прочие – 8,68 %;
- ✓ в осенний сезон соответственно: полимеры – 12,082 %, стекло – 10,831 %, металлы – 1,315 %, инертные – 3,257 % и прочие – 6,944 %;
- ✓ в зимний сезон соответственно: полимеры – 20,63 %, стекло – 14,43 %, металлы – 2,52 %, инертные – 2,762 % и прочие – 7,71 % (Итого – 8,052 %).

Анализ полученных исследований можно использовать в проектных решениях по проектированию полигонов ТКО и разработке сортировочных станций [7...10].

**Заключение.**

В результате исследования морфологического состава твердых коммунальных отходов проведено разделение содержания различных компонентов по сезонам, по степени их разложения и по фракционному составу.

Выявлено, что для использования в качестве вторичного сырья можно перенаправить до 50% образующих ТКО. Трудноразлагаемые отходы составляют до 10 % ТКО, утилизация которых требует разработки дополнительных мероприятий.

Полученные результаты по фракционному и морфологическому составу ТКО могут явиться материалом для проектирования сортировочных станций ТКО. Исследования по органической и неорганической части можно использовать по прогнозированию эмиссий с полигонов ТКО при захоронении отходов на полигонах.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Кривошеева, М. М.** Анализ нормативов накопления ТКО / М. М. Кривошеева // Управление техносферой. – 2021. – Т. 4. – № 2. – С. 176-191.
2. Моделирование ресурсосберегающего обращения с твердыми коммунальными отходами / Т. Г. Серeda, С. Н. Костарев, Ю. А. Кочинов, Т. В. Кочинова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 1(24). – С. 95-104. – DOI 10.36622/VSTU.2023.24.1.011.
3. **Серeda, Т. Г.** Системный подход к проектированию и строительству инженерных сооружений полигонов твердых коммунальных отходов / Т. Г. Серeda, С. Н. Костарев. – Москва: Вологда: Инфра-инженерия, 2019. – 324 с.
4. **Волосникова, Г. А.** Обоснование экономической эффективности процесса сортировки твердых коммунальных отходов / Г. А. Волосникова, Ю. С. Чурилова // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2021. – № 1(60). – С. 185-194.
5. **Лопин, И. Л.** Утверждены правила определения нормативов накопления ТКО / И. Л. Лопин // Твердые бытовые отходы. – 2016. – № 5(117). – С. 58.
6. **Варданян, М. А.** Логистика ресурсосбережения как инструмент обращения с твердыми коммунальными отходами / М. А. Варданян, Н. Г. Ильина // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2019. – Т. 2. – С. 192-197.
7. **Костарев, С. Н.** Проектные решения по разработке автоматизированной системы управления и мониторинга загрязнений атмосферы в условиях сокращенной санитарно-защитной зоны полигона ТКО / С. Н. Костарев, Т. Г. Серeda, М. А. Макагонова // Экологические системы и приборы. – 2020. – № 10. – С. 16-22.
8. **Костарев, С. Н.** Программный инструментальный проектировщика полигона твердых коммунальных отходов / С. Н. Костарев, Т. Г. Серeda, // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022664050, 22.07.2022. Заявка № 2022663235 от 13.07.2022.
9. **Субракова, Л. К.** Экономика обращения с пищевыми отходами в России / Л. К. Субракова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2021. – № 1. – С. 37-48.
10. **Sereda, T. G.** Development of automated control system for waste sorting / T. G. Sereda, S. N. Kostarev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 537 (6). – Pp. 062012.

*Поступила в редакцию 18 ноября 2023*

**ANALYSIS OF FRACTIONAL AND MORPHOLOGICAL COMPOSITION  
OF SOLID MUNICIPAL WASTE ON THE EXAMPLE OF PERM KRAI**

**T. G. Sereda, S. N. Kostarev**

Tatyana G. Sereda, Dr. Sc. (Tech.), Professor at the Department of Building Technology, Perm State Agro-Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, the city of Perm, Russia, tel.: +7(342)217-93-22; e-mail: iums@dom.raid.ru

Sergey N. Kostarev, Dr. Sc. (Tech.), Professor at the Department of Animal Science, Perm Institute of the FPS of Russia; Professor at the Department of Informatics, Perm Military Institute of the National Guard Forces of the Russian Federation, Russia, tel.: +7(906)878-39-29; e-mail: iums@dom.raid.ru

In order to design facilities related to waste treatment and utilization it is necessary to have information on the fractional and morphological composition of solid municipal waste. Despite some success in the development of sorting facilities, a significant portion of solid municipal waste is disposed of in landfills. The article presents the results of research on waste composition on the example of Perm Krai, conducted in 2020. Forty-two components of waste, divided into 12 categories, were studied. The research was conducted on the example of two settlements with a population of less than 300,000 people (the village of Kondratovo) and with a population of more than 500,000 people (the city of Perm). We present the results of an analysis of the fractional and morphological composition of solid municipal waste according to the season. We determined in the studied samples the percentage of degradable, difficult to decompose and non-degradable fractions. The results obtained in the work can be useful for the feasibility study of the design of facilities for the processing and disposal of solid waste.

**Keywords:** waste; solid municipal waste; fractional composition of waste; processed raw materials.

## REFERENCES

1. **Krivosheeva M. M.** *Analysis of the norms of MSW accumulation*. Technosphere Management. 2021. T. 4. No. 2. Pp. 176-191. (in Russian)
2. **Sereda T. G., Kostarev S. N., Kochinov Yu. A., Kochinova T. V.** *Modeling of resource-saving handling with solid municipal waste*. Housing and utilities infrastructure. 2023. No. 1(24). Pp. 95-104. DOI 10.36622/VSTU.2023.24.1.011. (in Russian)
3. **Sereda T. G., Kostarev S. N.** *System approach to design and construction of engineering structures of solid municipal waste landfills*. Moscow. Vologda, Infra-Engineering. 2019. 324 p. (in Russian)
4. **Volosnikova G. A., Churilova Y. S.** *Justification of the cost-effectiveness of the MSW sorting process*. Vestnik of the Pacific State University. 2021. No. 1(60). Pp. 185-194. (in Russian)
5. **Lopin I. L.** *The rules for determining the norms of accumulation of solid domestic waste are approved*. Solid domestic wastes. 2016. No. 5(117). Pp. 58. (in Russian)
6. **Vardanyan M. A., Ilyina N. G.** *Resource saving logistics as a tool for solid municipal waste management*. Proceedings of Bratsk State University. Series: Natural and engineering sciences. 2019. Vol. 2. Pp. 192-197. (in Russian)
7. **Kostarev S. N., Sereda T. G., Makagonova M. A.** *Design solutions for the development of an automated system of control and monitoring of atmospheric pollution in the conditions of the reduced sanitary protection zone of the landfill*. Ecological systems and devices. 2020. No. 10. Pp. 16-22. (in Russian)
8. **Kostarev S. N., Sereda T. G.** Program toolkit of solid municipal waste landfill designer. Certificate of registration of computer program 2022664050, 22.07.2022. Application No. 2022663235 from 13.07.2022. (in Russian)
9. **Subrakova L. K.** *Economics of food waste handling in Russia*. Bulletin of Voronezh State University. Series: Economics and Management. 2021. No. 1. Pp. 37-48. (in Russian)
10. **Sereda T. G., Kostarev S. N.** *Development of automated control system for waste*

*sorting*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 537(6). Pp. 062012.

*Received 18 November 2023*

**Для цитирования:**

**Серда, Т. Г.** Анализ фракционного и морфологического состава твердых коммунальных отходов на примере Пермского края / Т. Г. Серда, С. Н. Костарев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 1(28). – С. 109-117. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.011.

**FOR CITATION:**

**Sereda T. G., Kostarev S. N.** *Analysis of fractional and morphological composition of solid municipal waste on the example of Perm krai*. Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 109-117. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.011. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.012

УДК 504.75.05:625.098

## ВИЗУАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ФАКТОРА ОТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА СЕЛИТЕБНУЮ ЗОНУ

Д. А. Соколов, Е. И. Головина

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

В работе представлено описание воздействия виброакустического фактора от железнодорожного транспорта. Изложены проблемные области, такие как влияние структурного шума на жилую территорию, здания и сооружения. Показана специфика влияния внешнего и внутреннего воздействия шума и вибрации от подвижного состава. Рассмотрены методичные и иногда, беспорядочные колебания грунта около рельсового полотна, воздействие шумового давления на человека и пространство около железнодорожного полотна. Полная совокупность явлений колебаний железнодорожного грунта учитывает цепочку: источник вибрации – железнодорожный путь – грунт, которые являются источником, передатчиком и приемником соответственно. Основная цель работы – визуально представить уровни вибраций грунта, учитывающие все три из этих элементов. Каждое из положений учитывается соответствующим эмпирическим фактором, произведение которых дает визуальное представление, которое включает влияние на социально-бытовую сторону деятельности человека. В изучаемой области были проведены исследования, которые затрагивали тему влияния уровней звукового давления от разных источников железнодорожного транспорта. Замеры проводились на границе между железнодорожным полотном и городской чертой, что более емко показало воздействие возникаемых колебаний на человека и окружающую среду, что важно для формирования высокого уровня социального комфорта. В заключении статьи представлен вариант визуального представления совокупного воздействия виброакустических факторов от железнодорожного транспорта, который затрагивает ряд ключевых факторов, которые стоит учитывать при прогнозировании комплексного воздействия шума и вибрации как на окружающую среду, так и на поезд в процессе движения.

**Ключевые слова:** шум; вибрация; железнодорожный транспорт; окружающая среда; здания и сооружения.

Влияние шума и вибрации от железнодорожного транспорта на близлежащие территории можно рассматривать с разных точек влияния этого воздействия: непосредственное влияние вибрации на грунт около рельсового полотна; влияние звукового давления на жилую зону в местах, где санитарная зона имеет критическую границу; влияние резонансных шумов на целостность зданий и сооружений. В исследовании [1] описывается система, которая включает в себя такие элементы, как: «транспортное средство-колесо-грунт», шероховатости и дефекты головки рельса. Для каждого компонента цепи необходимы входные модели или данные натуральных измерений для некоторых перекрестных спектров. При создании модели комплексного влияния факторов на человека и окружающие объекты следует учитывать все факторы внешнего и внутреннего воздействия.

Внешним воздействием можно считать структурный шум, вибрацию, которые воздействуют на окружающую территорию, здания и сооружения, рельсовое полотно, меха-

низмы, грунт. Не стоит забывать о постоянном воздействии на селитебную территорию. В работе [2] проводится оценка здоровья населения в зависимости от расстояния до наиболее «шумных» участков железнодорожного полотна. Воздействие шума от железных дорог зависит от технического состояния путей и подвижного состава, типа используемых тормозов, объемов движения или рельефа местности [3].

Внутренним воздействием можно считать влияние звукового давления и вибрации, которые возникают в системе «колесо-рельс». Воздействие такого рода крайне негативно влияет на целостность конструкции железнодорожных составов. Также важно учитывать губительное влияние на человека, который находится на подвижном составе в процессе движения. Рабочие поездных и локомотивных бригад со временем могут получить проблемы со здоровьем, которые выражаются в приобретении хронических заболеваний (атрофия слухового нерва, вибрационная болезнь и др.).

Кроме того, существуют также модели, которые фокусируются только на одном или двух элементах и которые могут быть объединены с другими моделями, учитывающими остальные элементы. Так, по таким моделям, например, можно понять, какие частоты имеют наибольшее влияние на разных этажах здания. Источники низкочастотных вибраций обычно указывают на более высокие уровни на верхних этажах зданий. Вероятно, это связано с резонансами всего здания [4]. Исследователи, которые фокусируются на более высоких частотах (структурный звук), указывают на то, что самые высокие уровни его находятся на нижних этажах. Одно из предлагаемых эмпирических правил, исходя из изучения двухкомпонентной модели распространения вибрации – ослабление звукового давления в размере 3 дБ на этаж, что можно достичь рядом технических средств.

Верхние пределы частоты, представляющие интерес в рамках изучения колебания грунта на железной дороге не так четко определены; вместо этого наблюдается постепенное снижение значимости по мере увеличения частоты. В исследовании [5] предполагают, что колебания грунта могут быть значимыми примерно до 200...250 Гц. Вторичный шум, вызванный вибрациями грунта, может быть слышен в зданиях частотой примерно до 200 Гц; на более высоких частотах затухание вдоль пути через грунт слишком сильное<sup>1</sup>.

Нижний предел интересующей частоты зависит от характера распространения в каждом конкретном случае.

Очень часто проблема заключается во вторичном шуме, который возникает вместе со структурным шумом и является негативным фактором рабочего процесса и жизнедеятельности. В таких случаях применяется ограничение слышимого диапазона на 18...20 Гц, но прямое возмущение от самих вибраций продолжается в инфразвуковом диапазоне.

Важными частотами в изучаемых пределах являются те, для которых здания максимально подвержены вибрации, у которых существуют мощные механизмы в источнике, или те, которые соответствуют режимам распространения в грунте. Конечно, они варьируются в зависимости от конкретного случая. Стены и полы обычно имеют резонансы в диапазоне 20...30 Гц. При этом виброгашение пола является наиболее важным вопросом, связанным со зданием, для обеспечения комфорта человека. Окна и двери обычно резонируют выше 40 Гц, вероятно, из-за того, что они менее демпфированы, чем полы, и резонируют на частотах с большим коэффициентом усиления, они наиболее критичны для вторичных шумов. Целые здания резонируют на своих фундаментах менее чем на 10 Гц, предполагается, что типичным является около 4 Гц.

Уровни звукового давления, измеряемые в зданиях, иногда могут быть связаны с конкретными механизмами вибрации, которые генерируют ее практически постоянно. Для создания модели можно измерить уровень вибрации в здании, соответствующий за-

---

<sup>1</sup> ГОСТ Р ИСО 14837-1-2007 Вибрация. Шум и вибрация, создаваемые движением рельсового транспорта. Часть 1. Общее руководство

метной частотной характеристики на перилах. Далее происходит измерение пика частоты на шпалах; это происходит при частоте 32...85 Гц для поездов со скоростью 80...200 км/ч и расстоянием между шпалами 65...70 см. Возникновение звукового давления в диапазоне от 2,5 Гц до 12,5 Гц при движении поезда на скорости 90 км/ч также сильно влияют на общую картину шума. Частота вращения колес 8...11 Гц (для скорости 90 км/ч) также может быть важна. Резонанс массы колеса с жесткостью рельсового пути, вызванный неровностями, и особенно когда он совпадает с частотой прохождения шпал, может привести к сильным звукам в зданиях. Обычно это происходит в диапазоне 40...50 Гц. Также имеет место сильная «хвостовая волна» частотой 2,7 Гц, которая появляется независимо от скорости поезда. Квазистатические колебания возникают от постоянной нагрузки поезда, движущегося по гибкой системе «грунт-рельсы» [6].

В процессе исследования [7], которые включали в себя замеры уровней звукового давления возле станции Плехановская (г. Воронеж), получены результаты, представленные в таблице.

Результаты замеров УЗД

Наименование условий замера	Минимальный УЗД, дБ	Средний УЗД, дБ	Максимальный уровень УЗД, дБ
Фоновый шум	80	88,6	98,1
Грузовой поезд	87	99,9	107,4
Скорый поезд	85,5	99	112,1
Электропоезд	79,2	94	108,8
Выправочно подбивочно-рихтовочная машина	100,7	106,5	118,3

Для более полного анализа в рамках работы было проведено исследование, которое заключалось в проведении замеров уровней звукового давления от разных внешних источников железнодорожного транспорта – скорый поезд, электропоезд, грузовой поезд и выправочно-подбивочно-рихтовочная машина. Основной ключевой момент исследования – замеры производились на границе между железнодорожным полотном и городской чертой, что более открыто может показать воздействие генерируемых колебаний на человека и окружающую среду.

Вес неподвижного поезда создает статическую картину деформации в грунте; поезд во время движения создает определенную картину деформации. Эта картина в любой фиксированной точке на грунте может показать приоритетные места возникновения вибрации; фиксированная точка испытывает изменяющееся во времени смещение, о котором идет речь в рамках возникновения вибрации. На очень высоких скоростях критические влияние скорости может быть важным.

Вибрация, вызванная дефектами рельсового полотна – это вибрация, вызванная неровностями поверхности колес и рельсов, и является доминирующим источником шума от рельсов с частотой выше примерно 15...20 Гц. Вибрация возникает из-за того, что масса подвижного состава через колесную пару проходит по регулярно изменяющейся жесткости колеи, где это изменение происходит из-за неравномерной опоры и разной плотности грунта. Вибрации возникают на частоте «прохождения» шпал, то есть на отношении скорости поезда к расстоянию между шпалами (обычно 32...85 Гц).

Дефекты колеса – одна из причин, по которой происходит вибрация. Она возникает из-за взаимодействия некруглой части поверхности колеса о рельс один раз за оборот колеса; могут возникать частоты в районе 8...11 Гц.

При взаимодействии колеса и рельса возникают колебания, которые вызывают квазистатические вибрации, которые возникают из-за регулярности прохождения колес в

фиксированной точке (регулярность обусловлена регулярной длиной вагонов и регулярными расстояниями между осями соседних вагонов); обычно в районе 2,5...12,5 Гц.

В дополнение к придорожному шуму, излучаемому вибрацией компонентов пути, также возникает аэродинамический шум из-за обтекания корпуса поезда воздушным потоком. В первую очередь это важно при очень высоких скоростях, около 300 км/ч. Однако, помимо этого, это очень важно, поскольку акустические явления усиливаются с увеличением скорости потока (в данном случае – скорости поезда).

Влияние скорости поезда на колебания грунта также могут быть рассмотрены при создании модели влияния негативных виброакустических факторов. В такой системе наблюдается зависимость колебаний грунта от скорости поезда. Можно обнаружить сильную зависимость от скорости движения на низких значениях и очень слабую зависимость от скорости на высоких значениях, с границей около 100 км/ч [8].

Необходимо сделать акцент на соотношении между частотой прохождения поездов и резонансом шпал от колеса, что дает сильную зависимость от скорости. Имеет место быть, что разные выводы и значения параметров модели могут быть связаны с разными тележками и колесными парами транспортных средств).

По общему мнению, при типичных рабочих скоростях общая вибрация грунта увеличивается примерно на 4...9 дБ (обычно 6 дБ) при удвоении скорости [9]. Отдельные полосы, конечно, могут быть гораздо более чувствительны к небольшим изменениям скорости из-за изменения характерных тонов (например, стыки рельс с постоянным шагом) в этих полосах при изменении скорости. Модели или обсуждение этих эффектов можно найти в ряде публикаций и научных трудов [10].

Квазистатические и параметрические механизмы источника возбуждения пропорциональны нагрузке, переносимой поездом, что объясняет, почему грузовые поезда часто являются основной проблемой вибрации грунта при отсутствии движения с очень высокой скоростью. С другой стороны, считается, что вибрация от износа рельс зависит только от динамического воздействия (приблизительно равна массе колеса) и, следовательно, практически не зависят от загрузки поезда.

В источнике [11] предполагается увеличение вибрации на 2...4 дБ при удвоении нагрузки, что приводит к увеличению нагрузки. Вибрация грунта (непосредственно под рельсовым путем) моделируется с помощью изучения основных параметров системы «колесо-рельс». Совокупное воздействие шумового и вибрационного воздействий от подвижного состава на окружающую территорию, грунт и подвижной состав можно представить в виде схемы (рис. 1).

Этот метод используется для изучения технических методов минимизации вибрации на придорожном грунте: как ранее применявшиеся меры «на ходу», так и (особенно) контрмеры по стабилизации грунта. Предполагается, что изменения уровня вибрации грунта на обочине дороги пропорциональны изменениям непосредственно под путями. Модель применима для диапазона примерно от 20 до 200 Гц. Более низкие частоты исключаются из-за физического упрощения, присущего модели. Визуальное представление совокупного воздействия виброакустических факторов может базироваться на анализе ряда шумовых карт исследуемого участка, создании списка основных источников шума и вибрации, изучение системы «колесо-рельс», а именно возникновении импульсных вибраций и направлении распространения звуковых волн в пространство и на корпус вагона или локомотива.

Далее информация может быть представлена в виде наглядной карты-схемы, которая учитывает особенности изучаемой территории. Пример визуализации показан на рис. 2.

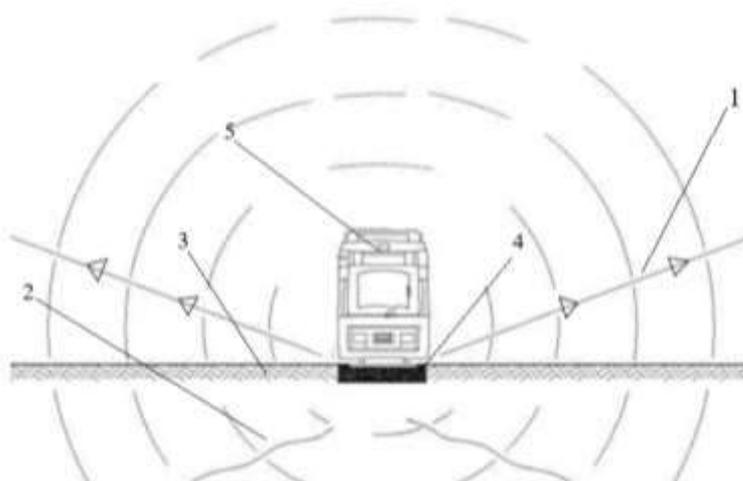


Рис. 1. Пример визуального представления совокупного воздействия виброакустических факторов от железнодорожного транспорта:

- 1 – распространение звуковых волн; 2 – распространение вибрации;  
3 – грунт; 4 – рельсовое полотно; 5 – подвижной состав.

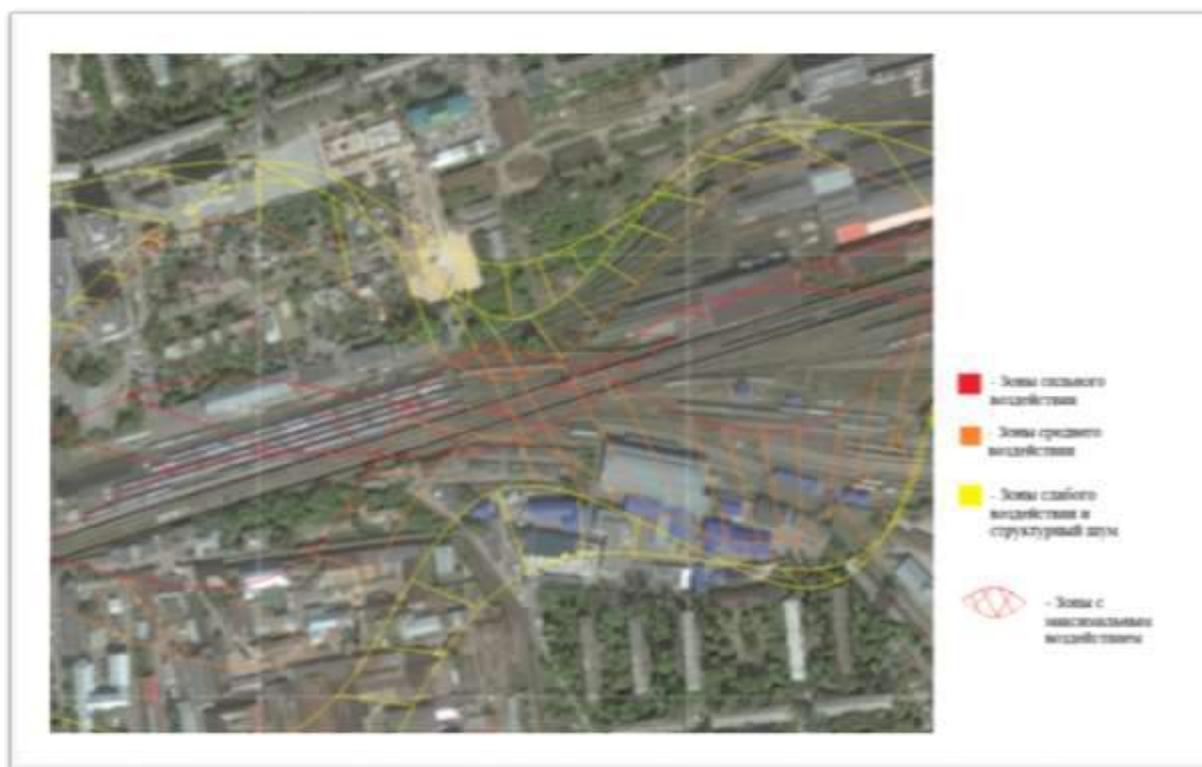


Рис. 2. Карта-схема участка с указанием границ степени воздействия виброакустических факторов

На шумовой карте-схеме исследуемой территории представлены зоны с различной интенсивностью виброакустического воздействия.

### Заключение.

Представлены результаты замеров звукового давления. Дана характеристика визуального представления виброакустических факторов от железнодорожного транспорта.

Представлена карта-схема совокупного воздействия от подвижного состава на окружающую территорию, которая может служить материалом для комплексного анализа при

внедрении, создании или разработке методов минимизации негативного воздействия виброакустических факторов на окружающую среду и человека.

Создание шумовых карт является одним из способов контроля в процессе экологического мониторинга за шумом и вибрацией. Подобные карты-схемы позволят создавать классификацию зон воздействия виброакустических факторов при проведении исследований.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Буряк, С. Ю.** Диагностирование состояния поверхности катания колеса подвижного состава железных дорог / С. Ю. Буряк // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 1(43). – С. 22-29.

2. **Курепин, Д. Е.** Оценка риска здоровью при производстве строительных работ в зоне влияния дорожно-транспортного комплекса / Д. Е. Курепин // Интернет-журнал Науковедение. – 2015. – Т. 7. – № 3(28). – С. 109. – DOI 10.15862/118TVN315.

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. **Цукерников, И. Е.** Особенности нормирования и оценки вибрации от рельсового транспорта в помещениях жилых и общественных зданий / И. Е. Цукерников, И. Л. Шубин, Т. О. Невенчанная // Noise Theory and Practice. – 2018. – Т. 4. – № 3(13). – С. 22-29.

5. Результаты изучения колебаний поверхности грунта на площадках, расположенных вблизи транспортных магистралей / В. Г. Козьмодемьянский, Д. В. Щерба, А. В. Гинзбург, Р. Р. Бахронов // Вестник МГСУ. – 2009. – № 3. – С. 242-245.

6. **Бушинский, А. И.** Колебаний балки под действием движущейся и осциллирующей нагрузки на слоях разной толщины / А. И. Бушинский // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2013. – № 3(175). – С. 23-28.

7. **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.

8. **Ромен, Ю. С.** Влияние продольных сил в поездах на опасность схода вагонов в зависимости от их загрузки / Ю. С. Ромен, Л. А. Мугинштейн, Л. И. Неверова // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 3(46). – С. 64-68.

9. Образование и распространение вибрации при движении высокоскоростных поездов / Т. С. Титова, А. Е. Шашурин, К. В. Бужинский, В. В. Светлов // Бюллетень результатов научных исследований. – 2017. – № 3. – С. 89-95.

10. Подходы при изучении воздействия шума железнодорожного транспорта на основе методологии оценки риска / О. И. Копытенкова, К. Б. Фридман, Е. Б. Кузнецова, Д. Е. Курепин // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96. – № 7. – С. 675-681. – DOI 10.18821/0016-9900-2017-96-7-675-681.

11. **Алтынников, Д. С.** Взаимодействие пути и подвижного состава / Д. С. Алтынников, Д. А. Ковенькин // 115 лет железнодорожному образованию в Забайкалье: образование - наука - производство: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Том 1. – Чита, 2017. – С. 118-124.

*Поступила в редакцию 24 ноября 2023*

## VISUAL PRESENTATION OF THE IMPACT OF THE VIBROACOUSTIC FACTOR FROM RAILWAY TRANSPORT ON THE RESIDENTIAL AREA

D. A. Sokolov, E. I. Golovina

Dmitry Alekseevich Sokolov, Master's Student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(928)305-30-77; e-mail: dmitriysokolov598@gmail.com

Elena Ivanovna Golovina, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor of the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: egolovina@cchgeu.ru

The paper presents a description of the impact of the vibroacoustic factor from railway transport. We outlined problem areas such as the impact of structural noise on residential areas, buildings and structures. We show the specificity of the influence of external and internal effects of noise and vibration from rolling stock. We considered methodical and sometimes erratic fluctuations of the ground near the rail-track, the effect of noise pressure on a person and the space near the railway track. The full set of phenomena of vibrations of the railway ground takes into account the chain: the source of vibration - the railway track - the ground, which are the source, transmitter and receiver, respectively. The main purpose of the work is to visually represent the vibration levels of the soil, taking into account all three of these elements. Each of the provisions is taken into account by an appropriate empirical factor, the product of which gives a visual representation that includes an impact on the social and everyday side of human activity. In the studied area, some studies on the topic of the influence of sound pressure levels from various sources of railway transport were conducted. Measurements were carried out on the border between the railway track and the city limits, which more concisely showed the impact of the fluctuations on humans and the environment, which is important for the formation of a high level of social comfort. In conclusion, the article presents a variant of the visual representation of the cumulative impact of vibroacoustic factors from railway transport, which affects a number of key factors that should be taken into account when predicting the complex effects of noise and vibration on both the environment and the train during movement.

**Keywords:** noise; vibration; railway transport; environment; buildings and structures.

### REFERENCES

1. **Buryak S. Y.** *Diagnosing the condition of the rolling surface of the wheel of the rolling stock of railways.* Science and progress of transport. 2013. No. 1(43). Pp. 22-29. (in Russian)
2. **Kurepin D. E.** *Health risk assessment during construction work in the zone of influence of the road transport complex.* Online journal of Science Studies. 2015. Vol. 7. No. 3(28). Pp. 109. – DOI 10.15862/118TVN315. (in Russian)
3. **Golovina E. I., Sokolov D. A.** *Ensuring labor safety during the operation of railway transport by modernizing systems of vibration damping linings and rail plates.* Safety of technogenic and natural systems. 2023. No. 1. Pp. 39-46. DOI 10.23947/2541-9129-2023-1-39-46. (in Russian)
4. **Tsukernikov I. E., Shubin I. L., Nevenchannaya T. O.** *Features of normalization and evaluation of vibration from rail transport in residential and public buildings.* Noise Theory and Practice. 2018. Vol. 4. No. 3(13). Pp. 22-29. (in Russian)
5. **Kozmodemyansky V. G., Shcherba D. V., Ginzburg A.V., Bakhronov R. R.** *Results of studying fluctuations of the soil surface at sites located near transport highways.* Bulletin of the MGSU. 2009. No. 3. Pp. 242-245. (in Russian)
6. **Bushinsky A. I.** *Beam vibrations under the action of moving and oscillating loads on layers of different thicknesses.* News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Series: Natural Sciences. 2013. No. 3(175). Pp. 23-28. (in Russian)

7. **Sokolov D. A., Golovina E. I.** *Analysis of the term "vibroacoustic factor" in the field of environmental safety and labor protection.* Urban planning. Infrastructure. Communications. 2023. № 3(32). Pp. 39-43. (in Russian)
8. **Romain Yu. S., Muginstein L. A., Neverova L. I.** *The influence of longitudinal forces in trains on the danger of derailment of wagons depending on their loading.* Transport of the Russian Federation. 2013. No. 3(46). Pp. 64-68. (in Russian)
9. **Titova T. S., Shashurin A. E., Buzhinsky K. V., Svetlov V. V.** *Formation and propagation of vibration during the movement of high-speed trains.* Bulletin of the results of scientific research. 2017. No. 3. Pp. 89-95. (in Russian)
10. **Kopytenkova O. I., Fridman K. B., Kuznetsova E. B., Kurepin D. E.** *Approaches to the study of the impact of railway noise on the basis of risk assessment methodology.* Hygiene and sanitation. 2017. Vol. 96. No. 7. Pp. 675-681. DOI 10.18821/0016-9900-2017-96-7-675-681. (in Russian)
11. **Altynnikov D. S., Kovenkin D. A.** *Interaction of track and rolling stock. 115 years of railway education in Transbaikalia: education - science - production: Materials of the All-Russian scientific and practical conference, Volume 1.* Chita. 2017. Pp. 118-124. (in Russian)

*Received 24 November 2023*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**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.

**FOR CITATION:**

**Sokolov D. A., Golovina E. I.** *Visual presentation of the impact of the vibroacoustic factor from railway transport on the residential area.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 118-125. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.012. (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 «Каталоге периодических изданий. Газеты и журналы» ГК «Урал Пресс» – **81025. Физические лица могут оформить подписку в интернет-магазине «Деловая пресса»** <http://www.ural-press.ru/dlya-fizicheskikh-lits/>

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** объемом 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 911015