

ISSN 2541-9110 (Print)

ISSN 2782-4667 (Online)

ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 2(37), 2026

Воронежский государственный технический университет



*Строительные конструкции,
здания и сооружения*

*Градостроительство.
Реконструкция, реставрация
и благоустройство*

*Инженерные системы
и коммуникации*

*Экология и безопасность
городской среды*

*Экономика и организация
строительства*

*Дорожно-транспортное
хозяйство
и строительная техника*

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 2(37), 2026

**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



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 электронном каталоге «Почта России» ПД039

Воронеж



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

Scientific journal

Voronezh State Technical University

Housing and Utilities Infrastructure



The journal has been publishing since 2017

Founder and publisher:

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

Address of the publisher and founder:

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

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

Published 4 times a year

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

Journal publishes materials on the following topics:

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

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

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

Subscription index in the electronic catalog "Russian Post" PD039

Voronezh

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор – Яременко Сергей Анатольевич, проректор по учебной работе (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)

Шибалева 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://36pix.ru/vtm>

Редактор переводов: Козлова В. В.

Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России» ПД039

Дата выхода в свет 30.06.2026. Усл. печ. л. 15,8. Формат 60×84/8. Тираж 34 экз. Заказ № 82

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**, Vice-Rector for Academic Affairs (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)

Eviev 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://36pix.ru/vrn>

Translation editor: V. V. Kozlova

Subscription index in the electronic catalog "Russian Post" PD039

Date of publication 30.06.2026. Conventional printed sheets 15,8. Format 60×84/8. Circulation 34 copies. Order 82

Registration certificate ПИИ № 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.

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

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Озерной Н. А., Лапшин А. П., Бараненко А. В.

Конструкция вентиляционных и коммуникационных каналов
для подземных сооружений в горизонтально подвижных грунтах.....9

Шмелев Г. Д., Алексеенко Н. В., Алирзаев И. Ш., Буренков И. С.

Анализ законодательной и нормативной базы проведения технических
обследований строительных конструкций.....16

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

Мерциев А. А., Голядкина А. Д., Лобанов Д. В.

Сравнение расчета солнечных коллекторов с использованием различных
источников данных по потокам солнечного излучения в Воронежской области.....28

Руколеев А. В.

Комплексная оценка технического состояния и назначение остаточного ресурса
внутридомовых газопроводов жилых зданий.....34

Китаев Д. Н.

Совершенствование методики расчета температуры точки росы природного газа
по воде упрощенным методом.....44

Гатауллина А. Р., Вахрушев В. А., Хабиров Ю. М.

Перспективы применения графен-полимерных мембран и мембран
из оксида графена в системах вентиляции.....52

Аралов Е. С., Марчуков Н. Я., Салиева А. С., Стреляева М. Р.

Обеспечение герметичности и коррозионной стойкости резьбовых соединений газового
оборудования в жилых домах с применением нано-модифицированных герметиков.....61

Аносов С. В., Лобанов Д. В., Кононова М. С., Гребенюк П. М.

Моделирование воздушораспределения в помещении общественного
здания при реконструкции с учетом архитектурных ограничений.....74

Нийонкуру Дьедонне, Щербаков В. И.

Оценка эффективности методов очистки питьевой воды в Бурунди.....85

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО

Максимова М. В., Танкеев А. С.

Индекс информационного потенциала как основа оценки развития территорий,
прилегающих к железнодорожным вокзалам и станциям г. Воронежа.....94

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Жерлыкина М. Н., Яременко С. А., Гармонов К. В., Овчинникова Т. В.

Применение значения токсодозы для оценки поражающего действия
аварийных выбросов химических веществ.....106

ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЕ ХОЗЯЙСТВО И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Коростелева Н. В., Краснова И. А., Дмитруха А. А.

Интеграция подземного пространства в транспортный каркас крупных городов
(на примере города Волгоград).....114

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Шмелев Г. Д., Буренков И. С., Шмелева Т. Г.

Экономическая эффективность капитального ремонта многоквартирных домов
при переходе от интегральной к поэлементной оценке физического износа.....125

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....134

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

Ozernoy N. A., Lapshin A. P., Baranenko A. V.

Design of ventilation and communication channels for underground structures
in horizontally shifting soils.....9

Shmelev G. D., Ishkov A. N., Alirzaev I. S., Burenkov I. S.

Analysis of the legislative and regulatory framework for conducting technical
surveys of engineering structures.....16

ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES

Mershchiev A. A., Golyadkina A. D., Lobanov D. V.

Comparison of solar collectors' calculation using various data sources
on solar radiation flows in the Voronezh region.....28

Rukoleev A. V.

Comprehensive assessment of the technical condition and designation
of the residual resource of indoor gas pipelines in residential buildings.....34

Kitaev D. N.

Improvement of the method for calculating the dew point temperature
of natural gas from water using a simplified method.....44

Gataullina A. R., Vakhrushev V. A., Khabirov Y. M.

Prospects for the application of graphene polymer membranes and graphene
oxide membranes in ventilation systems.....52

Aralov E. S., Marchukov N. Ja., Salieva A. S., Streljaeva M. R.

Ensuring the tightness and corrosion resistance of threaded connections
of gas equipment in residential buildings using nano-modified sealants.....61

Anosov S. V., Lobanov D. V., Kononova M. S., Grebenyuk P. M.

Modeling of air distribution in a public building during reconstruction taking
into account architectural constraints.....74

Niyonkuru Dieudonne, Shcherbakov V. I.

Evaluation of the efficiency of drinking water treatment methods in Burundi.....85

URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

Maximova M. V., Tankeev A. S.

Index of information potential as a basis for assessing the development
of territories adjacent to railway terminals and stations of the city of Voronezh.....94

ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

Zherlykina M. N., Yaremenko S. A., Garmonov K. V., Ovchinnikova T. V.

Using the toxodose value to assess the effects of accidental chemical releases.....106

ROAD TRANSPORT, AGRICULTURE AND CONSTRUCTION MACHINES

Korosteleva N. V., Krasnova I. A., Dmitrukha A. A.

Integration of underground space into the transport frame of large cities
(on the example of the city of Volgograd).....114

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

Shmelev G. D., Burenkov I. S., Shmeleva T. G.

Economic efficiency of major repairs of apartment buildings
in the transition from integral to element-by-element assessment of physical degradation.....125

WRITING RULES AND GUIDELINES.....134

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.001

УДК 624.191.5

КОНСТРУКЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ И КОММУНИКАЦИОННЫХ КАНАЛОВ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ГОРИЗОНТАЛЬНО ПОДВИЖНЫХ ГРУНТАХ

Н. А. Озерной, А. П. Лапшин, А. В. Бараненко

Озерной Николай Александрович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры защитных сооружений, ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(900)932-95-72; e-mail: nikoz72@mail.ru

Лапшин Александр Павлович, канд. техн. наук, доцент, начальник факультета инженерно-аэродромного обеспечения ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(980)539-01-64; e-mail: nikoz72@mail.ru

Бараненко Андрей Васильевич, курсовой офицер – преподаватель, ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(904)211-71-40; e-mail: nikoz72@mail.ru

Статья посвящена обоснованию инженерных решений в конструкции вентиляционных и коммуникационных шахт в подземных сооружениях в грунтах с горизонтальным смещением и воздействием на вертикальные конструкции со смещением без разрушения. Рассматриваются сооружения, относящиеся, как правило, к специальным, глубоким (до 300 м) и экстремально глубоким (более 300 м) в сложных геологических условиях. Для защиты от разрушения вертикальных вентиляционных и коммуникационных шахт предложена их конструкция, позволяющая сохранять их функциональные параметры при деформации без разрушения. Приведено описание и чертежи предлагаемой конструкции. Предложено техническое решение, позволяющее интегрировать эвакуационный подъемник, в предлагаемую конструкцию шахты.

Ключевые слова: поперечный сдвиг грунта; вентиляционные и коммуникационные шахты; горизонтальное смещение грунта; эвакуационный подъемник.

Подземные сооружения - это любые объекты, расположенные полностью или частично ниже уровня земной поверхности. Их классификация может проводиться по разным признакам: назначению, глубине, типу конструкции, методу строительства, географическому положению и т.д. (СП 248.1325800.2023 «Сооружения подземные. Правила проектирования»).

На прочность, несущую способность и устойчивость подземных сооружений огромное влияние оказывает смещение пластов грунта. На смещение пластов грунта влияет большое количество факторов (изменение положения точек грунтовой массы под действием нагрузок, температурных изменений, влаго- и химических процессов) вокруг подземных сооружений, а именно: изменение уровня грунтовых вод (высыхание, насыщение). Глинистые слои могут расширяться или сжиматься, вызывая поперечный сдвиг. При тектонических и сейсмических нагрузках горизонтальное ускорение порождает боковые силы в грунте, которые передаются на стенки шахты. Движения подпочвенных слоёв, подушечных плит, свай могут передаваться в шахту, возможно снижение несущей способности грунта вокруг шахты. Эти процессы могут возникать самостоятельно (естественные геологические процессы) или индуцировано (строительно-технические работы, добыча, подземные коммуникации, взрывы) [1, 2].

© Озерной Н. А., Лапшин А. П., Бараненко А. В., 2026

Более высокие требования к прочности и устойчивости и подземных сооружений возникают при необходимости учета воздействия подземных ядерных взрывов. Поэтому основой обоснования конструкции вентиляционных и коммуникационных шахт является анализ воздействия подземного ядерного взрыва в область поражения, которого входят менее защищенные коммуникационные и вентиляционные шахты.

Анализ воздействия разрушающих факторов ядерного взрыва можно провести на основе исследований экспериментальных взрывов внутреннего действия проведенных в 1957-1958 гг., на Невадском испытательном полигоне США. Наиболее полно с точки зрения подземного действия изучен взрыв «Райнир» [3].

В статье за расчетное давление при смещении грунтовых масс, возникающее на расстоянии 10м от взрыва принято $2,24 \cdot 10^{11}$ Па (эквивалент 500 кг тротила).

Анализ факторов взрыва, признаков разрушения подземных сооружений и последствий воздействия приведены в табл. 1.

Таблица 1

Последствия горизонтального смещения для вертикальных шахт

Фактор	Признаки разрушения	Последствия
Горизонтальный (поперечный) сдвиг	Стенка шахты «выкручивается», появляется наклон, разрывы обсадных колец.	Потеря круглой геометрии уменьшение пропускной способности, локальная нестабильность, риск обрушения.
Вертикальное оседание с наклонным оседанием	Одно- или несколько участков шахты опускаются быстрее, образуется наклон.	Сдвиг инструмента, изменение направления бурения, затруднение транспортировки шахтных средств.
Комбинация оседания и сдвига (трёхмерные деформации)	Появляются «провалы» и «выбросы» в разных направлениях, усиливается нагрузка на подпорные элементы.	Снижение несущей способности обсадных колонн, рост напряжений в арматуре, ускоренный коррозионный износ.
Внутреннее давление (гидростатическое/газовое)	При изменении уровня грунтовых вод давление в стенке меняется, вызывая расширение/сжатие.	Увеличение поперечных нагрузок, возникновение трещин, протечки.
Температурные и криогенные деформации	Замораживание/оттаивание глины → объёмные изменения.	Всплытие/подъём глинистых слоёв, локальные «выбросы» стенки.
Сейсмические и вибрационные нагрузки	Быстрые импульсные силы вызывают пластический сдвиг.	Резкое разрушение обсадных элементов, мгновенный обвал.

Ключевой критерий – коэффициент поперечного смещения β . При $\beta \leq 0,3\%$ ($\approx 0,03\%$) большинство современных шахт остаются в пределах безопасных деформаций. При $\beta > 0,5-1\%$ необходимо принимать инженерные меры (усиление, дренаж, мониторинг). Рекомендуемый перечень защитных мероприятий приведен в табл. 2[3].

Таблица 2

Проектные меры по защите вертикальных шахт

Мероприятия	Действие	Область применения
Обсадка (обсадные кольца, сталь, бетон)	Противодействует радиальному напряжению, ограничивает сдвиг стенки.	При ожидаемых $\beta > 1\%$, в сейсмически активных районах.
Гидроизоляция и дренаж	Снижает гидростатическое давление, уменьшает глинистое расширение.	При переменных уровнях грунтовых вод, в глинистых слоях.
Подпорные пластины (грунтовая анкера, микростеклы)	Распределяют горизонтальные нагрузки в грунт, уменьшают локальное напряжение.	При близости к тяжёлым инженерным объектам.
Контроль уровня грунтовой воды (обратные скважины)	Стабилизирует поровое давление, снижает горизонтальное расширение.	В регионах с сезонным колебанием уровня воды.

Окончание табл. 2

Мероприятия	Действие	Область применения
Вибропрессование/инъекция цементного раствора	Увеличивает плотность и модуль упругости окружающего грунта.	При слабом, рыхлом грунте, где ожидается значительный сдвиг.
Термальное утепление (изоляционные кольца)	Сокращает температурные градиенты, снижает тепловое расширение.	В холодных регионах, где замораживание приводит к подъёму.
Сейсмостойкое проектирование (расчёт по спектральному отклику)	Оценка динамических поперечных нагрузок и их влияния на стенку.	В сейсмоактивных зонах, при проектировании новых шахт.

Рассмотренные в табл. 2 общепринятые мероприятия не способствуют защите от вертикальных шахт при сверхкритических значениях коэффициента поперечного смещения $\beta > 1$ %. В связи с этим, поставлена задача разработки конструкции воздуховода, способной выдерживать возникающие нагрузки (Нормативы Минэнерго РФ по безопасному проектированию шахт, 2024).

Предлагаемая конструкция вентиляционной (коммуникационной) шахты (рис. 1), представляет собой спирально навитую, упругую, круглого сечения металлическую арматуру с диаметром спирали, соответствующим расчетному диаметру с шагом витков плотно прилегающих друг к другу.

Основным достоинством предлагаемой конструкции является расширение технических характеристик конструкции воздуховода, способного воспринимать продольно-поперечную периодическую нагрузку плотной окружающей среды без деформации и разрушения [4, 5].

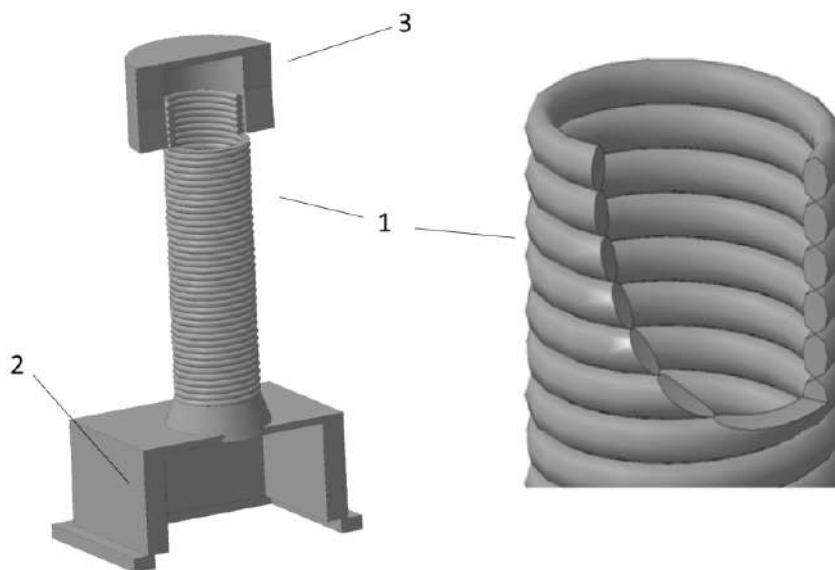


Рис. 1. Конструкция вентиляционной шахты:

1 – спиральный ствол шахты; 2 – конструкция заглубленного сооружения;
3 – бетонный цилиндрический оголовок

На рис. 1 показано, что нижний конец спирального ствола шахты 1 находится в жесткой заделке в конструкции заглубленного сооружения 2, верхний конец упруго подвижен и коаксиально входит в защитный бетонный цилиндрический оголовок 3 (отрезок железобетонной трубы длиной 0,1 длины спирального ствола шахты) на поверхности земли. Внешняя поверхность спирального ствола шахты 1 непосредственно контактирует с грунтом и воспринимает всю сдвиговую нагрузку. Восприятие нагрузки со стороны грунта на шахту осуществляется непосредственно каждым кольцом, которое может упруго смещаться относительно другого без деформации и разрушения в пределах коэффици-

ента упругости материала, из которого изготовлена арматура, а подвижность верхнего конца шахты в оголовке 3 позволяет компенсировать осевое смещение. Внутренняя и внешняя поверхность спирального воздуховода покрыта полимерным составом, способным растягиваться без разрушения, создающим герметизирующий воздухонепроницаемый слой. Герметизирующий состав также заполняет пространство между внешней поверхностью воздуховода и внутренней поверхностью бетонного оголовка.

Для определения продольно-поперечной нагрузки на подвижный стальной стержень в зависимости от крепления концов стержня предлагается следующая расчетная схема (рис. 2).

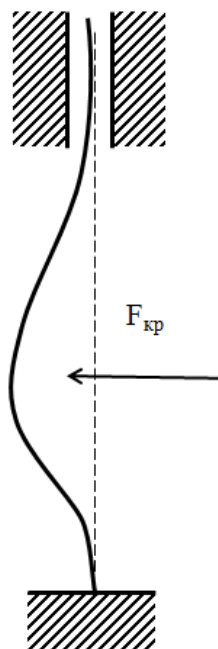


Рис. 2. Расчетная схема нагрузок

Сдвиговые поперечные силы, действующие со стороны грунта могут воздействовать по периодическому закону, искривлять вентиляционную шахту во взаимно противоположных направлениях без критической деформации и рассчитываются по общепринятой методике [6, 7].

Следующим немаловажным аспектом при эксплуатации сооружения является возможность эвакуации на поверхность обслуживающего персонала при повреждении коммуникационных шахт подземного сооружения. На базе выше предложенной конструкции вентиляционной (коммуникационной) шахты предлагается лифтовая платформа (рис. 3), представляющая кабину подъемника, выполненного в виде полого шара, в котором устроены посадочные места. Внутри вентиляционной шахты расположена направляющая скольжения в виде трубы, проходящей через центр кабины, фрикцион сцепления с лебедочным барабаном и электроприводом и посадочным люком.

Кабина подъемника, помещенная в шахту, представляет собой полый шар с посадочными местами, посадочным люком направляющей, выполненной в виде трубы, проходящей через центр кабины, и равным диаметру кабины, с фрикционным сцеплением и лебедочным барабаном и электроприводом, подъемным тросом.

При вращении лебедочного барабана происходит перемещение направляющей по тросу, который закреплен верхним и нижним концами соответственно на поверхности в защитном бетонном оголовке и в плите перекрытия защитного сооружения и проходящего через лебедочный барабан, с возможностью удлинения для компенсации осевого смещения шахты.

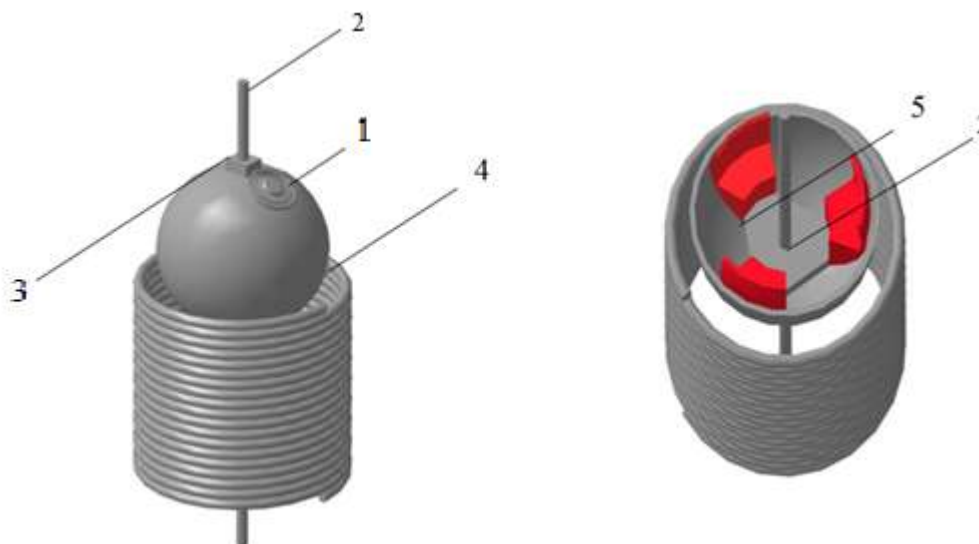


Рис. 3. Конструкция подъемника:

1 – посадочный люк; 2 – направляющая труба; 3 – электропривод; 4 – кабина подъемника;
5 – полый шар с посадочными местами

Направляющая скольжения расположена внутри кабины в центре в виде вертикального отрезка трубы длиной равной диаметру кабины. Предлагаемая конструкция обеспечивает прохождение кабины подъемника при воздействии на коммуникационную шахту продольно-поперечных нагрузок при отклонении ее от вертикального направления.

Техническим результатом предлагаемой модели является расширение функциональных характеристик конструкции шахты, заключающегося в обеспечении возможности подъема на поверхность людей в аварийном эвакуационном режиме[8]. Предложенная конструкция вентиляционных каналов (шахт) способствует сохранению функционирования систем вентиляции при сверхкритических значениях коэффициента поперечного смещения $\beta > 1\%$.

Заключение.

Проведен анализ ключевых факторов, влияющих на устойчивость подземных сооружений, с учетом которых разработана конструкция вентиляционной шахты, способная выдерживать экстремальные нагрузки без разрушения при значениях коэффициента поперечного смещения $\beta > 1\%$.

Дополнительной функцией предложенной конструкции является возможность интегрирования в неё системы аварийной эвакуации, что обеспечивает повышение надежности и безопасности.

Предложенные решения позволяют расширить технические характеристики подземных сооружений, повышая их устойчивость к экстремальным воздействиям и обеспечивая безопасность персонала в аварийных ситуациях

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Мангуш, С. К.** Взрывные работы при проведении подземных горных выработках: учебник для вузов / С. К. Мангуш. – Москва: Издательство Горная книга, 2009. – 121 с.
2. **Вознесенский, Е. А.** Поведение грунтов при динамических нагрузках: учебное пособие / Е. А. Вознесенский. – Москва: Издательство МГУ, 1997 – 288 с.
3. **Нифонтов, Б. И.** Подземные ядерные взрывы / Б. И. Нифонтов. – Москва: Атомиздат, 1965. – 160 с.

4. **Бараненко, А. В.** Расчетная модель вентиляционной шахты повышенной живучести / А. В. Бараненко, В. Е. Хаваев // Сборник научных статей по материалам XII Научно-практической конференции «Молодежные чтения, посвященные памяти Ю. А. Гагарина», 14...16 мая 2025 г. – С. 6-14.

5. **Озерной, Н. А., Лапшин, А. П. Крымов, А. В. Скнуарин, А. А.** Вентиляционная шахта. Пат. на полезную модель №216291 (Российская Федерация), патентообладатель федеральное государственное учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерство обороны Российской Федерации. №2022113769 от 23.05.2022; - опубл. 26.01.2023, Бюл. №2. – 2 с.

6. **Межецкий, Г. Д.** Сопротивление материалов / Г. Д. Межецкий, Г. Г. Загребин, Н. Н. Решетник. – Москва: Дашков и К. – 2016. – 432 с.

7. **Кукарских, Л. А., Озерной, Н. А., Бараненко, А. В., Хаваев, В. Е.** Расчет вентиляционной (коммуникационной) шахты с арматурой в виде цилиндрической спиральной пружины. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024688021 (Российская Федерация), правообладатели (Кукарских Л. А., Озерной Н. А., Бараненко А. В., Хаваев В. Е.) - №2024687305; заявл. 12.11.2024; регистрация в Реестре программ для ЭВМ 25.11.2024

8. **Бараненко, А. В.** Конструкционный способ повышения живучести и выживаемости защищенных пунктов управления / Н. А. Озерной, А. П. Лапшин, А. В. Бараненко // «Перспективы развития видов обеспечения Военно-воздушных сил» сборник статей по материалам IX Всероссийской научно-практической конференции в рамках Всероссийского форума с международным участием, 12...14 марта 2026 г. – С. 85-90.

Поступила в редакцию 10 апреля 2026

DESIGN OF VENTILATION AND COMMUNICATION CHANNELS FOR UNDERGROUND STRUCTURES IN HORIZONTALLY SHIFTING SOILS

N. A. Ozeroy, A. P. Lapshin, A. V. Baranenko

Nikolay Aleksandrovich Ozeroy, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Protective Structures at the Military Training and Scientific Center, Air Force at Air Force Academy named after Prof. N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin, Voronezh, Russia, tel.: +7(900)932-95-72; e-mail: nikoz72@mail.ru
Aleksandr Pavlovich Lapshin, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Head of the Faculty of Engineering and Air Force, Air Force Academy named after Prof. N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin, Voronezh, Russia, tel.: +7(980)539-01-64; e-mail: nikoz72@mail.ru

Andrey Vasilyevich Baranenko, officer-instructor at the Military Training and Scientific Center of the Air Force, Air Force Academy named after Prof N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin, Voronezh, Russia, tel.: +7(904)211-71-40; e-mail: nikoz72@mail.ru

The article is dedicated to the justification of engineering solutions in the design of ventilation and communication shafts in underground structures within soils experiencing horizontal displacement and pressure on vertical structures with shifting but without destruction. It examines structures that are classified as deep (up to 300 m) and extremely deep (more than 300 m) in complex geological conditions. To protect vertical ventilation and communication shafts from destruction, we propose a design that allows for the maintenance of their functional parameters during deformation without structural failure. A description and drawings of the proposed design are provided. We as well propose a technical solution that allows for the integration of an emergency lift into the proposed shaft design.

Keywords: transverse soil shear; ventilation and communication shafts; horizontal soil shift; emergency lift.

REFERENCES

1. **Mangush S. K.** *Blasting operations during underground mining*. Textbook for universities. Moscow, Gornaya Kniga Publishing House. 2009. 121 p. (in Russian)
2. **Voznesensky E. A.** *Soil behavior under dynamic loads: a textbook*. Moscow, Moscow State University Publishing House. 1997. 288 p. (in Russian)
3. **Nifontov B. I.** *Underground nuclear explosions*. Moscow, Atomizdat. 1965. 160p. (in Russian)
4. **Baranenko A. V.** *Computational model of ventilation shift with increased survivability*. Collection of scientific articles from the XII Scientific-Practical Conference «Youth Readings in Memory of Y. A. Gagarin», 14...16 May 2025. Pp. 6-14. (in Russian)
5. **Ozernoy N. A., Lapshin A. P., Krymov A. V., Sknarin A. A.** *Ventilation shaft*. Pat. For utility model No 216291 (Russian Federation), patent holder: Federal state Institution of Higher Education «Military Training and Scientific Center of the Air Force named after Prof. N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin» (Voronezh). Ministry of Defense of the Russian Federation No. 2022113769 dated 23 May 2022; published on 26 Jan 2023. No. 2. 2 p. (in Russian)
6. **Mezhetsky G. D.** *Strength of Materials*. Moscow. Dashkov and K. 2016. 432p. (in Russian)
7. **Kukarshikh L. A., Ozernoy N. A., Baranenko A. V., Khavaev V. E.** *Calculation of ventilation (communication) Shaft with reinforcement in the form of a cylindrical coil spring*. Certificate of state registration of a computer program No. 2024688021 (Russian Federation), copyright holders: Kukarshikh L. A., Ozernoy N. A., Baranenko A. V., Khavaev V.E. No. 2024687305; field 12 Nov 2024; registered on 25 Nov 2024. (in Russian)
8. **Baranenko A. V.** *A structural method for increasing the survivability and viability of protected control posts*. «Prospects for the development of types of support for the Air Force», collection of articles from the IX All Russian Scientific-Practical Conference, 12...14 March 2026. Pp. 85-90. (in Russian)

Received 10 April 2026

Для цитирования:

Озерной, Н. А. Конструкция вентиляционных и коммуникационных каналов для подземных сооружений в горизонтально подвижных грунтах / Н. А. Озерной, А. П. Лапшин, А. В. Бараненко // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 2(37). – С. 9-15. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.011.

For citation:

Ozernoy N. A., Lapshin A. P., Baranenko A. V. *Design of ventilation and communication channels for underground structures in horizontally shifting soils*. Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 2(37). Pp. 9-15. DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.011. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.002

УДК 692:083.74

АНАЛИЗ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ И НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Г. Д. Шмелев, Н. В. Алексеенко, И. Ш. Алирзаев, И. С. Буренков

Шмелев Геннадий Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: shmelev8@mail.ru

Алексеенко Наталья Владимировна, генеральный директор ООО «ХАЙ-ТЕК ПРОФ», магистрант кафедры технологии, организации строительства, экспертизы и управления недвижимостью, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(903)853-43-21, e-mail: gossertifikat@mail.ru

Алирзаев Иман Шири, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры строительной и теоретической механики, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация, тел.+7(473)271-52-49; e-mail: imranalirzaev@yandex.ru

Буренков Илья Сергеевич, студент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», тел.: +7(473)271-52-49; e-mail: isburenkov@mail.ru

Проведен анализ нормативно-правовых документов, связанных с порядком проведения технических обследований строительных конструкций зданий и сооружений. Выполнен системный анализ действующих законодательных и нормативно-технических документов, включая Федеральный закон № 384-ФЗ, Постановление Правительства РФ № 47, ГОСТ 31937-2024, СП 454.1325800.2019, СП 547.1325800.2025 и другие. Выявлены существенные противоречия между указанными документами, в частности: арифметический порог аварийности (более 5 % или 50 % конструкций) противоречит принципу единичного разрушения, заложенному в Техническом регламенте о безопасности зданий и сооружений; исключение деревянных конструкций покрытия и лестниц из оценки аварийности здания в целом не учитывает скрытую угрозу общей устойчивости зданий; данные упрощенного обследования по СП 454.1325800.2019 признаны недостаточными для разработки проектных решений при капитальном ремонте и реконструкции зданий. На основе проведенного анализа показано, что ГОСТ 31937-2024 является методологическим ядром, определяющим общие правила обследования, а своды правил (СП 454.1325800.2019, СП 547.1325800.2025, СП 368.1325800.2017) выступают в качестве прикладных надстроек для решения узкоспециализированных задач. Предложена четкая четырехуровневая иерархическая система обследования, включающая этапы инициации, подготовительных и визуальных работ, детального инструментального контроля и обработки результатов (инженерное обследование). Разработанный подход обеспечивает переход от упрощенных методов обследования (визуально-измерительный контроль) к детальным (детальное инструментальное обследование) при выявлении признаков проблем, что повышает достоверность оценки технического состояния и безопасность эксплуатации зданий.

Ключевые слова: обследование; техническое состояние; строительные конструкции; здания и сооружения; иерархическая система.

В своей практической деятельности специалисты по проведению обследований зданий и сооружений сталкиваются с различными вопросами, связанными, в том числе с вопросами правильности и порядка проведения различного рода экспертиз строительных конструкций зданий и сооружений [1...5]. В практике выделяются следующие виды обследований и экспертиз: обследование технического состояния, комплексное обследование технического состояния, экспертиза промышленной безопасности зданий и сооруже-

ний на опасных производственных объектах, судебная строительно-техническая экспертиза, технический аудит, энергетическое обследование или энергоаудит, различные виды мониторинга технического состояния и др.

В ходе проведения работ для различных видов обследований и экспертиз специалисты пользуются законодательными актами и нормативно-технической литературой, регламентирующими тот или иной вид обследования или экспертизы [6...9]. При этом на практике часто приходится сталкиваться с некоторыми противоречиями и нестыковками в разных документах. В рамках настоящей статьи рассматриваются вопросы, связанные с правильностью применения законодательных актов и нормативно-технических документов в области обследования строительных конструкций многоквартирных жилых зданий, направленных на оценку фактического технического состояния строительных конструкций, отнесения жилых зданий к аварийным или определении необходимости выполнения капитального ремонта жилых зданий.

В рассматриваемой предметной области одновременно действуют следующие документы, регламентирующие вопросы проведения обследования [10]:

✓ Федеральный закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (дает общие требования, касающиеся вопросов эксплуатации объектов капитального строительства);

✓ Постановление Правительства РФ от 28 января 2006 г. N 47 «Об утверждении Положения о признании помещения жилым помещением, жилого помещения непригодным для проживания, многоквартирного дома аварийным и подлежащим сносу или реконструкции, садового дома жилым домом и жилого дома садовым домом» (применяется в узкой области признания или непризнания помещений пригодными для проживания, а многоквартирных жилых зданий аварийными или ограниченно-работоспособными и подлежащими капитальному ремонту);

✓ ГОСТ 31937-2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» (в соответствии с областью определения является нормативной основой для проведения всех видов обследования, кроме судебной строительно-технической экспертизы);

✓ СП 454.1352800.2019 «Здания жилые многоквартирные. Правила оценки аварийного и ограниченно-работоспособного технического состояния» (применяется для зданий до 75 м высотой в целях признания их ограниченно-работоспособными или аварийными в упрощенном порядке);

✓ СП 547.1325800.2025 «Здания жилые многоквартирные. Правила установления необходимости проведения капитального ремонта» (применяется для установления необходимости и очередности планирования работ по капитальному ремонту зданий);

✓ СП 368.1325800.2017 «Здания жилые. Правила проектирования капитального ремонта» (регламентирует вопросы подготовки и проведения капитального ремонта жилых зданий);

✓ СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» (не актуализирован, в соответствии с пояснениями Минстроя РФ применяется как справочный документ).

На практике часто приходится сталкиваться с вольным подходом различных исполнителей к требованиям перечисленных выше документов [1, 5, 11...13].

Авторами был проведен глубокий системный анализ перечисленных выше документов, который показал наличие значительных расхождений в требованиях, предъявляемых к одним и тем же вопросам, связанными с обеспечением безопасности зданий, порядку проведения обследования и отнесения строительных конструкций и зданий в целом к разным категориям технического состояния.

Ниже представлен подробный разбор этих несоответствий с цитированием источников.

Несоответствие 1. Арифметический порог аварийности против принципа единичного разрушения. Суть несоответствия: противоречие между упрощенной методикой оценки по СП 454.1352800.2019 и требованием статьи 7 Федерального закона № 384-ФЗ о недопустимости разрушения отдельных конструкций.

Цитируемые источники:

✓ Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» Статья 7. «...чтобы в процессе строительства и эксплуатации не возникало угрозы причинения вреда жизни или здоровью людей ... в результате: 1) разрушения отдельных несущих строительных конструкций или их частей; ... 4) повреждения части здания или сооружения... в результате деформации, смещения или потери устойчивости несущих строительных конструкций, в том числе отклонений от вертикальности».

✓ Постановление Правительства РФ от 28 января 2006 г. № 47 «Об утверждении Положения о признании помещения жилым помещением, жилого помещения непригодным для проживания и многоквартирного дома аварийным и подлежащим сносу или реконструкции...» раздел III, пункт 34: «...если в результате проведенной оценки технического состояния указанных конструкций к аварийной категории технического состояния отнесено более 50 процентов отдельных конструкций фундамента, и (или) 50 процентов конструкций несущих стен, и (или) 50 процентов конструкций перекрытий многоквартирного дома».

✓ СП 454.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные. Правила оценки аварийного и ограниченно работоспособного технического состояния» пункт 5.1.5: «Жилые здания относят к аварийной категории технического состояния, если выявлено более 5 % несущих строительных конструкций, хотя бы одного типа ... от общего количества несущих строительных конструкций данного типа, но не менее трех, соответствующих аварийной категории технического состояния».

Анализ несоответствия. Норма статьи 7 Федерального закона № 384-ФЗ устанавливает однозначный запрет на эксплуатацию объекта, если существует угроза разрушения отдельной (единичной) конструкции, поскольку такое событие в несущей системе часто ведет к прогрессирующему обрушению. Следовательно, аварийное состояние одного элемента несущего каркаса уже свидетельствует о недопустимом риске для здания в целом.

В то же время положения Постановления Правительства № 47 вводят статистический порог в 50 % + 1 конструкция для признания объекта аварийным. В соответствии с пунктом 5.1.5 развивающего его СП 454 к аварийной категории следует относить здание, в котором выявлено более 5 % аварийных конструкций.

Таким образом, возникает парадоксальная ситуация: по СП 454 специалисты, проводившие обследование при количестве более 5 % аварийных конструкций признают здание аварийным, но при наличии в здании критических дефектов, свидетельствующих о неизбежном обрушении менее чем половины конструктивных элементов определенного типа, здание по Постановлению Правительства РФ № 47 формально не может быть признано аварийным в рамках упрощенной процедуры для домов высотой до двух этажей. Кроме того, данное обстоятельство прямо противоречит требованию части 1 статьи 7 Федерального закона № 384-ФЗ, поскольку угроза жизни при разрушении отдельной несущей конструкции очевидна независимо от состояния большинства остальных конструкций.

Несоответствие 2. Локализация аварийных участков конструкций и скрытая угроза общей устойчивости здания. Суть несоответствия: исключение из оценки аварийности здания в целом аварийного состояния деревянных конструкций покрытия и лестниц противоречит требованию учитывать отклонения от вертикальности и деформации здания, вызванные этими элементами.

Цитируемые источники:

✓ Федеральный закон № 384-ФЗ, статья 7, пункт 4: «...не возникало угрозы причинения вреда ... в результате: ... повреждения части здания ... в результате деформации, смещения или потери устойчивости несущих строительных конструкций, в том числе отклонений от вертикального положения».

✓ СП 454.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные...» пункт 4.4: «Для жилого здания не устанавливается аварийное состояние при наличии в нем аварийных только деревянных несущих строительных конструкций покрытия, если есть возможность их усиления ... без отселения жильцов». пункт 4.5: «Аварийное состояние лестниц не является основанием для признания технического состояния жилого здания аварийным...».

Анализ несоответствия. Основные положения строительной механики и практика обследования деревянных стропильных систем однозначно устанавливают, что деревянные стропильные системы (конструкции покрытия) при потере жесткости и образовании дефектов в результате разрушения на опорах, в том числе вызванного гниением или другими деструктивными процессами в древесине, создают неуравновешенный горизонтальный распор, воздействующий на верхний обрез несущих стен [4...6, 9]. Это воздействие приводит к прогрессирующему отклонению стен от вертикали, что является прямой реализацией недопустимого риска, описанного в пункте 4 статьи 7 Федерального закона № 384-ФЗ.

В пунктах 4.4 и 4.5 СП 454 декларируется, что аварийность данных элементов не влияет на статус здания в целом, если ремонт возможен «без отселения жильцов». Налицо подмена понятия безопасности на понятие технологической возможности проведения работ. Федеральный закон № 384-ФЗ оценивает состояние конструкции, а СП 454 в данном случае оценивает режим производства работ. Таким образом, применение СП 454 в этой части может привести к легализации эксплуатации здания, подверженного горизонтальному распору и развитию крена стен, что является прямым нарушением требований Технического регламента.

Несоответствие 3. Недостаточность данных упрощенного обследования для принятия инженерных решений. Суть несоответствия: целевой разрыв между юридическим актом о признании дома аварийным и технической возможностью проектирования мероприятий по устранению аварийности.

Цитируемые источники:

✓ Постановление Правительства РФ № 47, раздел III, пункт 34: «...Аварийное техническое состояние многоквартирного дома, количество этажей в котором не превышает двух, может быть установлено без применения межгосударственного стандарта при условии проведения обследования и оценки технического состояния такого многоквартирного дома в соответствии с документом по стандартизации (сводом правил), содержащим правила оценки технического состояния многоквартирных домов ..., конструкции ... которых находятся в аварийном техническом состоянии или в ограниченно работоспособном техническом состоянии ...» на основании выводов ... об отнесении технического состояния многоквартирного дома к аварийной категории технического состояния, обоснованных соответствующими проверочными расчетами несущей способности ...».

✓ СП 454.1325800.2019 пункт 4.13: «В связи с тем, что объем данных, полученных в соответствии с требованиями настоящего свода правил, недостаточен для проведения проектных работ по восстановлению, усилению, капитальному ремонту ... следует провести дополнительные обследования в соответствии с ГОСТ 31937-2024».

Анализ несоответствия. В данном случае несоответствие носит не антагонистический, а процедурно-циклический характер. Регулятор допускает признание здания аварийным на основании СП 454 (особенно для малоэтажных объектов). Однако, согласно пункту 4.13 СП 454, для разработки проекта капитального ремонта, сноса или реконструкции (то есть для фактического устранения недопустимого риска) этих данных принципиально недостаточно. Требуется повторное полномасштабное обследование по ГОСТ

31937-2024 со вскрытием шурфов, определением свойств грунта в основании здания и проверочными расчетами [14].

Таким образом, документ, служащий основанием для расселения граждан и включения дома в адресную программу, не является достоверным с инженерной точки зрения на стадии разработки проектной документации. Это создает временной разрыв между принятием управленческого решения о сносе и началом фактических работ по демонтажу, в течение которого аварийное здание продолжает оставаться источником недопустимого риска.

Несоответствие 4. Дискреционное право на отказ от инструментального обследования при очевидной аварии. Суть несоответствия: противоречие между требованием обосновать аварийность расчетами и правом специалистов по обследованию не проводить детальное (инструментальное) обследование с поверочными расчетами при визуальном обнаружении аварийного состояния конструкций и здания в целом.

Цитируемые источники:

✓ ГОСТ 31937-2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» пункт 5.1.11: «Если по результатам визуального обследования выявлено аварийное техническое состояние обследованных конструкций, то детальное (инструментальное) обследование проводят при необходимости».

✓ Постановление Правительства РФ № 47, раздел III, пункт 34: «... отнесение технического состояния многоквартирного дома к аварийному ..., обоснованное соответствующими проверочными расчетами...».

Анализ несоответствия. ГОСТ 31937-2024 в пункте 5.1.11 вводит диспозитивную норму: если состояние уже визуальным идентифицировано как аварийное, проведение дорогостоящего и трудоёмкого инструментального этапа (включающего определение прочности материалов неразрушающими методами и отбор кернов) остаётся на усмотрение исполнителя («при необходимости»).

Однако Постановление Правительства № 47 (п. 34) для всех домов выше двух этажей требует именно обоснованных проверочных расчетов. Выполнение проверочного расчета по СП «Нагрузки и воздействия» и СП по соответствующим конструкциям (бетонные, железобетонные, каменные, деревянные, стальные) невозможно без инструментального определения фактической прочности материалов, их размеров, с учетом выявленных дефектов (повреждений), полученных на этапе детального обследования.

Следовательно, для зданий высотой более двух этажей заключение об их аварийности, составленное только по результатам визуального осмотра (даже при очевидных деформациях) со ссылкой на п. 5.1.11 ГОСТ 31937-2024, является юридически уязвимым и может быть признано не соответствующим требованиям пункта 34 Постановления Правительства РФ № 47 ввиду отсутствия расчетного обоснования несущей способности.

Научно-обоснованный подход к порядку проведения обследования

На основе проведенного анализа требований ГОСТ 31937-2024, СП 547.1325800.2025, СП 454.1325800.2019 и СП 13-102-2003 авторами выстроена четкая иерархическая система обследования. Научная обоснованность заключается в переходе от простых, быстрых и дешевых методов к сложным, детальным и дорогостоящим только при выявлении признаков проблем. Так в области применения ГОСТ 31937-2024 указывается, что «... стандарт является нормативной основой для контроля технического состояния зданий...», т.е. основой или фундаментом для всех остальных документов по обследованию (сводов правил). При этом ГОСТ 31937-2024 предлагает следующий порядок выполнения работ по обследованию: подготовительные работы; предварительное (визуальное) обследование и детальное (инструментальное) обследование. При этом, как отмечалось выше, детальное (инструментальное) обследование не является обязательным элементом, а выполняется при необходимости (п. 5.1.2 ГОСТ 31937-2024).

Работы по упрощенному обследованию в соответствии с требованиями СП 454.1325800.2019 фактически представляют собой упрощенный вариант инструментального обследования. В пользу этого говорят соответствующие пункты ГОСТ 31937-2024 и самого СП 454.1325800.2019. Результаты анализа конкретных статей документов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты сравнения текста ГОСТ 31937-2024 и СП 454.1325800.2019

Требования ГОСТ 31937-2024	Требования СП 454.1325800.2019
5.1.13 Детальное (инструментальное) обследование технического состояния здания (сооружения) включает в себя: ... - инструментальное определение параметров дефектов и повреждений; ...	5.2.3 ... - при наличии внешних признаков аварийного состояния наружных стен для жилых зданий с несущими или самонесущими наружными стенами проводят измерения выявленных дефектов ...
5.1.14 Детальное (инструментальное) обследование может быть сплошным (полным) или выборочным. ... Объем выборочно обследуемых конструкций должен составлять не менее 10 % однотипных конструкций (но не менее трех).	5.2.4 ... - осмотру и измерениям контролируемых параметров подлежит не менее 10% (но не менее трех) несущих строительных конструкций каждого типа. ...

Приведенное в табл. 1 сравнение текста пунктов ГОСТ 31937-2024 и СП 454.1325800.2019 говорит о том, что по СП 454.1325800.2019 должны выполняться работы по выборочному инструментальному обследованию. То есть, самостоятельное использование СП 454.1325800.2019 для целей обследования, без использования ГОСТ 31937-2024 как минимум неправомерно.

В СП 547.1325800.2025 (п.п. 4.2, 4.3, 4.5, 5.1 и др.) дословно указывается, что документом регламентируются работы по визуальному обследованию. Фактически получается, что СП 547.1325800.2025 дополняет ГОСТ 31937-2024 в части требований по визуальному обследованию.

С учетом всего выше изложенного предлагается следующий порядок проведения обследований технического состояния зданий:

Этап 0. Инициация работ по обследованию и Задание на обследование

Нормативная база: ГОСТ 31937-2024 (п. 4.4), Техническое задание Заказчика.

Классификация цели (критически важный шаг):

✓ Цель А: Формирование программы капитального ремонта. Нужно оценить процент износа и поставить в очередь. Основной инструмент: визуальный осмотр по ГОСТ 31937 + СП 547.

✓ Цель Б: Проверка жалоб жильцов / Определение аварийности дома. Нужно быстро понять, не произойдет ли обрушение конструкций дома. Основной инструмент: визуальный осмотр по ГОСТ 31937 + СП 454 (до 2 этажей).

✓ Цель В: Проектирование ремонта/усиления/реконструкции. Нужны точные данные для расчетов. Основной инструмент: Полный цикл ГОСТ 31937 (включая детальное обследование).

Этап 1: Подготовительные работы (обязательный элемент вне зависимости от целей).

Основание: ГОСТ 31937-2024 (п. 5.1.6-5.1.8), СП 13-102-2003 (п. 6).

Состав работ:

✓ Сбор и анализ исходных данных: проектная, исполнительная, эксплуатационная документация (акты осмотров, журналы), материалы предыдущих обследований, данные БТИ.

✓ Анализ истории объекта: год постройки, серия проекта, сведения о ремонтах, перепланировках (особо важно по СП 454, п. 5.4), авариях, пожарах, воздействиях агрессивных сред.

✓ Составление и согласование программы работ: на основе технического задания, с уточнением объемов, методов и мест контроля (для сложных объектов).

Этап 2: Предварительное (визуальное) обследование (обязательный элемент вне зависимости от целей)

Основание: ГОСТ 31937 (п. 5.1.9-5.1.12), СП 454 (Раздел 5), СП 547 (Раздел 5).

Цель: Массовая оценка, выявление явных дефектов, предварительная категоризация, определение необходимости детального обследования.

Методология: Сплошной визуальный осмотр всех доступных конструкций с применением простейших инструментов (бинокль, рулетка, штангенциркуль, лупа, молоток).

Ключевая задача – поиск дефектов (повреждений) оказывающих влияние на несущую способность, жесткость и устойчивость здания (по приложениям В – Д ГОСТ 31937-2024), «критических признаков» (отмечены * в приложении А СП 547) и соответствия критериям аварийности из СП 454 (Табл. 5.2-5.26).

Результат:

✓ Если дефектов нет или состояние соответствует 1-й категории СП 547 (износ до 20%) и нет аварийных признаков по СП 454, обследование завершается. Составляется Заключение по форме ГОСТ 31937 и дополняется приложением в виде таблицы по СП 547 (Приложение Б).

✓ Если выявлены признаки износа 2-й или 3-й категории по СП 547 (износ от 21 до 60 %) или признаки ограниченно-работоспособного или аварийного технического состояния по СП 454, требуется переход к Этапу 3.

✓ Если обнаружены критические или аварийные признаки дефектного состояния (износ более 61 % по СП 547), немедленно информируется Заказчик для принятия противоаварийных мер (ГОСТ 31937 п. 4.6).

Этап 3: Детальное (инструментальное) обследование (проводится при необходимости)

Основание: ГОСТ 31937-2024 (п. 5.1.13-5.1.14), СП 13-102-2003 (Раздел 8).

Цель: количественная оценка параметров, определение фактической несущей способности для принятия обоснованного решения о ремонте, усилении или сносе.

Состав работ:

✓ Обмерные работы: уточнение геометрической схемы здания, сечений, пролетов (ГОСТ 31937 п. 5.1.15).

✓ Инструментальное определение параметров дефектов: измерение ширины раскрытия трещин, прогибов, кренов с использованием геодезического оборудования, дефектоскопов и т.д.

✓ Инструментальное определение свойств материалов:

Бетон: неразрушающий контроль (ультразвук, отрыв со скалыванием, др.) по ГОСТ 17624, ГОСТ 22690. При необходимости – отбор кернов и лабораторные испытания (ГОСТ 28570).

Арматура: магнитный метод, радиационный метод, контрольные вскрытия с определением класса, диаметра и степени коррозии.

Металл: определение марки стали (спектральный анализ), механических свойств (ГОСТ 1497), толщины с учетом коррозии.

Камень и раствор: отбор образцов и лабораторные испытания на сжатие (ГОСТ 8462, ГОСТ 5802), неразрушающий контроль (ГОСТ 22690).

Древесина: определение влажности, прочности (ГОСТ 16483), глубины биоповреждений.

Этап 4. Обработка результатов обследования (инженерное обследование)

✓ Поверочные расчеты: расчет несущей способности конструкций с учетом выявленных дефектов, фактических свойств материалов и нагрузок.

✓ Теплотехнические расчеты ограждающих конструкций (для жилых и общественных зданий);

✓ Анализ причин дефектного состояния конструкций: установление наиболее вероятных причин образования дефектов и их развития.

✓ Заключение: составление технического отчета (заключения) с категорией технического состояния по ГОСТ 31937-2024 и выводами о возможности дальнейшей эксплуатации.

Проведенный с научной и нормативной точки зрения анализ законодательных и подзаконных актов, а также нормативно-технических документов в области обследования зданий и сооружений, приведенный выше, показал, что ГОСТ 31937-2024 является безусловным методологическим ядром и основополагающим стандартом, определяющим общие правила в области обследования зданий. СП 547.1325800.2025, СП 454.1325800.2019 и СП 368.1325800.2017 являются надстройкой (расширениями), адаптирующими общие требования ГОСТа к конкретным, узким практическим задачам. Это классическая схема «Базовый стандарт — Свод правил для частного случая», заложенная в системе технического регулирования РФ. В табл. 2 представлена иерархия изученных нормативно-технических документов в области обследования зданий и сооружений.

Таблица 2

Иерархия нормативно-технических документов по обследованию зданий и сооружений

Уровень	Документ	Роль в системе	Принцип применения
1. Базовый (Методология)	ГОСТ 31937-2024	Устанавливает единство терминов, этапов, методов и категорий технического состояния для любых зданий (жилых, промышленных и уникальных зданий). Определяет, порядок и правильность проведения обследования.	Обязателен к применению всегда, когда требуется определить категорию технического состояния (нормативное, работоспособное, ограниченно-работоспособное, аварийное).
2. Прикладной (Частные задачи)	СП 547.132580 0.2025	Решает задачу: «Как быстро и с минимальными затратами наполнить региональную программу капитального ремонта?». Не требует сложного инструментального контроля, но результат нужен для планирования бюджета.	Применяется исключительно для целей формирования и/или корректировки программ капремонта (как указано в п. 1.1 СП 547).
2. Прикладной (Частные задачи)	СП 454.132580 0.2019	Решает задачу: «Как при осмотре старого жилья быстро выявить аварийные здания?». Заменяет сложные расчеты жесткими табличными критериями "отсечки".	Применяется для быстрого разделения зданий малоэтажного жилищного фонда на аварийные и подлежащие капитальному ремонту.
3. Справочно-методический	СП 13-102-2003 (фактически не актуализирован)	Содержит уникальные инженерные методики и таблицы (по контролю прочности бетона, марки сталей прошлых лет), которых нет в актуальном ГОСТ.	Применяется как справочник при детальном обследовании по ГОСТ 31937, если нужно идентифицировать старые материалы.

Некой обособленностью от ГОСТ 31937-2024 и приведенной в табл. 2 иерархией нормативно-технических документов по обследованию зданий и сооружений обладают такие направления в обследовании, как:

- ✓ экспертиза промышленной безопасности зданий и сооружений на опасных промышленных объектах;
- ✓ судебная строительно-техническая экспертиза;
- ✓ энергетическое обследование или энергоаудит.

Но и в этих направлениях экспертиз ГОСТ 31937-2024 является нормативной базой, на которой строится все определение технического состояния объектов, выявление их дефектного состояния и определения причин образования и развития выявленных дефектов (повреждений).

Заключение.

Проведен глубокий системный анализ законодательных актов и нормативно-технических документов в области обследования зданий и сооружений. Выявлены несоответствия в законодательных актах и нормативно-технических документах, требующие внесения корректировок на уровне Минстроя РФ и Правительства Российской Федерации.

На основании текста ГОСТ 31937-2024 и СП 454.1325800.2019 доказано, что работы по СП 454 относятся к работам по инструментальному обследованию (облегченный вариант).

Аргументировано доказано, что основой любых обследований является ГОСТ 31937-2024, а своды правил лишь дополняют его в отдельно взятых областях, направленных на решение узкоспециальных задач (признание аварийным; постановка на капитальный ремонт и др.).

Выстроена и обоснована иерархия нормативно-технических документов в области обследования технического состояния зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Лодягина, М. Г.** Комплексное визуально-инструментальное обследование сооружений площади победы г. Калининград / М. Г. Лодягина, А. И. Барыгин // В книге: Современные проблемы строительства. Коллективная монография. Санкт-Петербург – Калининград. – 2025. – С. 106-120.
2. Определение технического состояния Ново-Афонского монастыря в Абхазии пассивным микросейсмическим методом на основе выделения стоячих волн в комплексе с методом слектротомографии / К. В. Федин, А. Л. Лукьянова, А. А. Гриценко, П. С. Осипова // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2025. – Т. 2. - № 3. – С. 168-175.
3. **Дудина, И. В.** Экспертная оценка технического состояния вертикальных несущих конструкций административного здания в г. Москва / И. В. Дудина, А. И. Дудин // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. - 2025. – Т. 1. - С. 226-231.
4. **Окольников, Г. Э.** Обследование и оценка остаточной несущей способности конструкций студенческого общежития // Г. Э. Окольников, М. Е. Ершов, А. С. Малафеев // Системные технологии. – 2024. – № 1 (50). – С. 129-137.
5. Оценка технического состояния многоквартирного кирпичного жилого дома / В. И. Римшин, С. И. Рощина, С. М. Анпилов, П. С. Трунтов // Университетская наука. – 2023. – № 1 (15). – С. 109-112.
6. Обследование технического состояния строительных конструкций жилого многоквартирного дома / В. И. Римшин, И. С. Кузина, Н. С. Трунтов, Е. С. Кецо // Университетская наука. – 2023. – № 2(16). – С. 52-57.
7. **Римшин, В. И.** Научно-техническая экспертиза конструкций для переоборудо-

вания открытых террас в помещениях многофункционального комплекса / В. И. Римшин, П. С. Трунтов, Е. С. Кецко // Жилищное строительство. – 2021. – № 7. – С. 37-41.

8. **Айгумов, М. М.** Причины обрушения кирпичной кладки в уровне парапета и верхнего этажа четырехэтажного нежилого здания / М. М. Айгумов, А. Н. Джлавян // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – 2021. – № 1(13). – С. 111-114.

9. Анализ причин повреждений и дефектов строительных конструкций при экспертном обследовании объекта жилого пятиэтажного дома № 1 в г. Кызылорде / С. Р. Жолмагамбетов, А. Д. Мехтиев, А. К. Қожас, Б. Е. Аяпбергенова, С. А. Калачева // Труды университета. – 2020. – № 2(79). – С. 79-82.

10. **Шмелев, Г. Д.** Методология оценки категории технического состояния строительных конструкций с учетом технического риска аварии / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков, Д. В. Панфилов // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2025. – № 3 (79). – С. 20-29.

11. **Желнинский, В. А.** Диагностика технического состояния исторического здания по адресу: г. Москва, 2-ой Волконский пер., д. 5, стр. 1 / В. А. Желнинский // Строительные материалы и изделия. – 2020. – Т. 3. – № 1. – С. 104-110.

12. **Ковалевская, Н. В.** Оценка технического состояния строительных конструкций здания по ул. Соц. труда в г. Сальск Ростовской области / Н. В. Ковалевская // В сборнике: Инновации в науке и практике. Сборник статей по материалам V международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 116-121.

13. Определение технического состояния строительных конструкций здания котельной / О. В. Соколов, В. А. Вилков, А. А. Аммосов, И. Г. Кощеев // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 2-2. – С. 97-98.

14. **Шмелев, Г. Д.** Анализ нормативно-технической документации по комплексному обследованию жилых зданий перед разработкой проекта капитального ремонта / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков, Д. А. Драпалюк // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 4(27). – 9-18.

Поступила в редакцию 20 апреля 2026

ANALYSIS OF THE LEGISLATIVE AND REGULATORY FRAMEWORK FOR CONDUCTING TECHNICAL SURVEYS OF ENGINEERING STRUCTURES

G. D. Shmelev, A. N. Ishkov, I. S. Alirzaev, I. S. Burenkov

Gennady Dmitrievich Shmelev, Cand. Sc. (Tech), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-52-49; e-mail: shmelev8@mail.ru

Natalya Vladimirovna Alekseenko, General Director of «HIGH-TECH PROF» LLC, Master's Student of the Department of Technology, Construction Organization, Expertise, and Real Estate Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(903)853-43-21, e-mail: gossertifikat@mail.ru

Imran Shiri Alirzaev, Cand. Sc. (Phys. and Math.), Associate Professor at the Department of Construction and Theoretical Mechanics, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, tel.: +7(473)271-52-49; e-mail: imranalirzaev@yandex.ru

Ilya Sergeevich Burenkov, student of the Department of Landscape Architecture and Soil Science, Voronezh State Forestry Engineering University named after G. F. Morozov, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-52-49; e-mail: is-burenkov@mail.ru

The article analyzes regulatory documents related to conducting technical inspections of engineering structures and buildings. The authors have performed a deep system analysis of current legislative and regulatory documents, including Federal Law No. 384-FZ, Government Decree No. 47, GOST 31937-2024, SP 454.1325800.2019, SP 547.1325800.2025, and others. Significant contradictions between these documents have been identified, including:

the arithmetic threshold for emergency (more than 5% or 50% of structures) contradicts the principle of single-point failure, which is outlined in the Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures; the exclusion of wooden roof structures and stairs from the overall assessment of the building's emergency does not take into account the hidden threat to the overall stability of the building; the simplified survey data according to SP 454.1325800.2019 is considered insufficient for the development of design solutions during major repairs and renovations of buildings. Based on the analysis conducted, the authors have proven that GOST 31937-2024 is the methodological core that defines the general rules for surveys, while the sets of rules (SP 454.1325800.2019, SP 547.1325800.2025, and SP 368.1325800.2017) act as applied add-ons for solving highly specialized tasks. We propose a clear four-level hierarchical survey system, which includes the stages of initiation, preparatory and visual work, detailed instrumental control, and result processing (engineering survey). The developed approach ensures a transition from simplified survey methods (visual and measurement control) to detailed methods (detailed instrumental survey) when signs of problems are detected, which increases the reliability of technical condition assessment and the safety of building operation.

Keywords: survey; technical condition; engineering structures; buildings and structures; hierarchical system.

REFERENCES

1. **Lodyagina M. G., Barygin A. I.** *Complex visual and instrumental survey of the Victory Square structures in Kaliningrad*. In the book: Modern Problems of Construction. Collective monograph. St. Petersburg – Kaliningrad. 2025. Pp. 106-120. (in Russian)
2. **Fedin K. V., Lukyanova A. L., Gritsenko A. A., Osipova P. S.** *Determination of the technical condition of the New Athos Monastery in Abkhazia by the passive microseismic method based on the standing wave selection in complex with the slectrotomography method*. Interexpo Geo-Siberia. 2025. Vol. 2. No. 3. Pp. 168-175. (in Russian)
3. **Dudina I. V., Dudin A. I.** *Expert assessment of the technical condition of vertical load-bearing structures of an administrative building in Moscow*. Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences. 2025. Vol. 1. Pp. 226-231. (in Russian)
4. **Okolnikova G. E. Ershov M. E., Malafeev A. S.** *Survey and Assessment of the Residual Load-Bearing Capacity of Student Dormitory Structures*. System Technologies. 2024. No. 1(50). Pp. 129-137. (in Russian)
5. **Rimshin V. I., Roshchina S.I., Anpilov S.M., Truntov P.S.** *Assessment of the Technical Condition of an Apartment Brick House*. University Science. 2023. No. 1 (15). Pp. 109-112. (in Russian)
6. **Rimshin V. I., Kuzina I. S., Truntov N. S., Ketsko E. S.** *Survey of the technical condition of building structures of an apartment building*. University Science. 2023. No. 2(16). Pp. 52-57. (in Russian)
7. **Rimshin V. I., Truntov P. S., Ketsko E. S.** *Scientific and Technical Expertise of Structures for the Conversion of Outdoor Terraces in the Premises of a Multifunctional Complex*. Housing Construction. 2021. No. 7. Pp. 37-41. (in Russian)
8. **Aigumov M. M., Dzhlavayan A. N.** *Causes of brickwork collapse at the parapet level and the upper floor of a four-storey non-residential building*. Resource- and Energy-Efficient Technologies in the Construction Complex of the Region. 2021. No. 1(13). Pp. 111-114. (in Russian)
9. **Zholmagambetov S. R., Mekhtiev A. D., Kozhas A. K., Ayapbergenova B. E., Kalacheva S. A.** *Analysis of the causes of damage and defects of building structures during the expert survey of the object of the residential five-storey building No. 1 in Kyzylorda*. Proceedings of the University. 2020. No. 2 (79). Pp. 79-82. (in Russian)
10. **Shmelev G. D., Ishkov A. N., Panfilov D. V.** *Methodology for Assessing the Technical Condition Category of Building Structures, Taking into Account the Technical Risk of Ac-*

cident. Scientific Journal of Construction and Architecture. 2025. No. 3 (79). Pp. 20-29. (in Russian)

11. **Zhelninsky V.A.** *Diagnostics of the technical condition of the historical building at the address: Moscow, 2nd Volkonsky Lane, 5, Building 1*. Construction Materials and Products. 2020. Vol. 3. No. 1. Pp. 104-110. (in Russian)

12. **Kovalevskaya N. V.** *Assessment of the Technical Condition of Building Structures on Sotsialnogo Truda Street in Salsk, Rostov Region*. In the collection: Innovations in Science and Practice. Collection of articles based on the materials of the V International Scientific and Practical Conference. 2018. Pp. 116-121. (in Russian)

13. **Sokolov O. V., Vilkov V. A., Ammosov A. A., Koscheev I. G.** *Determination of the Technical Condition of Building Structures in a Boiler House*. Actual Problems of the Humanities and Natural Sciences. 2016. No. 2-2. Pp. 97-98. (in Russian)

14. **Shmelev G. D., Ishkov A. N., Drapalyuk D. A.** *Analysis of regulatory and technical documentation on a comprehensive survey of residential buildings before the development of a capital repair project*. Housing and communal infrastructure. 2023. No. 4(27). Pp. 9-18. (in Russian)

Received 20 April 2026

Для цитирования:

Анализ законодательной и нормативной базы проведения технических обследований строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, Н. В. Алексеенко, И. Ш. Алимзаев, И. С. Буренков // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 2(37). – С. 16-27. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.002.

For citation:

Shmelev G. D., Ishkov A. N., Alirzaev I. S., Burenkov I. S. *Analysis of the legislative and regulatory framework for conducting technical surveys of engineering structures*. Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 2(37). Pp. 16-27. DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.002. (in Russian)

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES

DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.003

УДК 697.329

СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТА СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ДАННЫХ ПО ПОТОКАМ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

А. А. Мерщев, А. Д. Голядкина, Д. В. Лобанов

Мерщев 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

Голядкина Анна Дмитриевна, студент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: nutagolyadkina@mail.ru

Лобанов Дмитрий Валерьевич, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: LDV-36@mail.ru

В работе представлены результаты расчёта теплопроизводительности, расхода теплоносителя и площади нагревательной поверхности плоских солнечных коллекторов для систем горячего водоснабжения частных жилых домов в климатических условиях Воронежской области. Расчеты проводились с использованием данных по солнечному излучению из различных нормативных источников, а также на основе экспериментальных данных. Выявлено значительное расхождение между экспериментальными данными и справочными значениями. Показано, что учёт локальных экспериментальных данных позволяет снизить погрешность расчёта площади коллекторов, сократить капитальные затраты. Результаты могут быть использованы при проектировании энергоэффективных систем теплоснабжения для индивидуального жилищного строительства.

Ключевые слова: солнечный коллектор; теплоснабжение; расход теплоносителя; энергетическая эффективность.

Ежегодный рост потребления энергии и тарифов жилищно-коммунальных услуг определяет необходимость повышения эффективности выработки тепла возобновляемыми источниками энергии, которая будет удовлетворять условиям экономичности и экологичности [1]. Одним из эффективных источников является солнечная энергия [2].

Использование солнечной энергии становится актуальным направлением не только в южных регионах с повышенной инсоляцией, но и в средней полосе страны. Снижение расхода потребляемой тепловой энергии на здание с сохранением комфортного микроклимата в рабочем пространстве и в жилых помещениях, является основой энергосбережения [3, 4].

Одним из устройств, способным преобразовывать солнечный свет в тепловую энергию, является солнечный коллектор [5]. В данной работе приводится сравнение эффективности работы водонагревательных установок с использованием в качестве генератора тепловой энергии плоского солнечного коллектора [5].

Стандартная водонагревательная установка с коллектором состоит из панелей коллектора, расширительного бачка, циркуляционного насоса, теплообменника (бойлера), блока управления (контроллера) и необходимой трубопроводной арматуры [6]. В случае

понижения температуры воды в баке-аккумуляторе ниже установленной (продолжительная пасмурная погода) требуется нагреватель-дублер, который автоматически включается и подогревает воду до заданной температуры.

Воронежская область находится в средней полосе России, имеет средний уровень теплоступлений от солнечной радиации. Использование солнечных коллекторов в Воронежской области целесообразно, если предусмотреть резервный источник теплоты и организовать систему автоматического регулирования угла наклона гелиоприёмников [7].

Для получения данных солнечной инсоляции были проведены экспериментальные наблюдения значений прямого солнечного излучения на горизонтальную поверхность, результаты приведены в работе, величина среднемесячного потока солнечного излучения составила 980 Вт/м² [8].

Был проведен анализ нормативной литературы, содержащей сведения о солнечном излучении. При сравнении опытных данных и данных из официальных источников, приведенных в табл. 1, можно сделать вывод, что они имеют значительные расхождения, что может привести к получению некорректных данных о требуемой площади солнечного коллектора, и, как следствие, увеличенные затраты на оборудование.

Таблица 1

Значения потока солнечного излучения из разных источников

Источник данных	Величина потока солнечного излучения, Вт/м ²	Отклонение, %
ГОСТ Р 53615-2009	1050	0
Экспериментальные данные [8]	980	6,67
Пособие к СНиП 2.04.05-91	585	44,29
СП 131.13330.2025	724	31,04

Для анализа возможности реализации солнечной водонагревательной установки (СВНУ) были рассчитаны необходимые тепловые нагрузки на обслуживание горячей водой частных жилых домов разной конфигурации и количества проживающих.

В качестве рассматриваемых объектов для расчета эффективности солнечного теплоснабжения приняты индивидуальные жилые здания (ИЖЗ) с площадью отапливаемых помещений 100 м², 125 м², 150 м². Количество проживающих людей, потребляющих горячую воду, применяются пропорционально жилым площадям: 3, 4 и 5 человек.

Для расчета требуемой площади солнечных коллекторов необходимо определить количество тепловой энергии $Q_{\text{ГВ}}$, кВт, требуемой для нагрева горячей воды в летний период.

Часовой расход тепла для нужд ГВС в зимний период $Q_{\text{ГВС.З}}^{\text{час}}$, ГДж/ч, вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{ГВС.З}}^{\text{час}} = \frac{c \cdot m \cdot a \cdot \rho_w (65 - t_{\text{ХВ}}) \cdot 10^{-6}}{24}, \quad (1)$$

Среднечасовой расход тепла на ГВС зданий $Q_{\text{ср.}}^{\text{час}}$, ГДж/ч, по формуле:

$$Q_{\text{ср.}}^{\text{час}} = Q_{\text{ГВС.З}}^{\text{час}} / 2,4, \quad (2)$$

Среднечасовой расход тепла на ГВС зданий в летний период $Q_{\text{ср.Л.}}^{\text{час}}$, ГДж/ч:

$$Q_{\text{ср.Л.}}^{\text{час}} = Q_{\text{ср.}}^{\text{час}} \cdot \frac{65 - t_{\text{ХЛ}}}{65 - t_{\text{ХЗ}}} \cdot \beta, \quad (3)$$

где ρ_w – коэффициент, учитывающий теплоотдачу в помещении от трубопроводов систем горячего водоснабжения (отопление ванных комнат, сушка белья), принимается равной 1,2; c – удельная теплоемкость воды, принимаемая равной 4,187 кДж/(кг·°C); m – число человек, проживающих в доме; a – норма расхода воды на горячее водоснабжение при температуре 65 °C на одного человека в сутки, принимаемая 120 л/сут; $t_{\text{ХВ}}$ – температура холодной (водопроводной) воды, принимается равной 5 °C; $t_{\text{ХЛ}}$ – температура холодной (водопроводной) воды летом, принимается равной 15 °C; $t_{\text{ХЗ}}$ – температура холодной (во-

допроводной) воды зимой, принимается равной 5 °С); β – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на ГВ в неотапительный период по отношению к отопительному периоду, принимается 0,8.

Результаты расчетов необходимого количества теплоты на горячее водоснабжение в летний период для рассматриваемых помещений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные расходы теплоты на горячее водоснабжение

Здание	Количество жителей, чел	Расход горячей воды, л/сут	Затраты тепла на горячее водоснабжение в летний период, $Q_{\text{ср.л.}}^{\text{час}}$, ГДж/ч
ИЖЗ №1	3	360	1,25
ИЖЗ №2	4	480	1,6
ИЖЗ №3	5	600	2,09

Согласно полученным данным, произведем расчет плоских солнечных коллекторов на горячее водоснабжение в Воронежской области для индивидуальных жилых домов.

Для дальнейшего исследования принят водонагреватель с естественной циркуляцией, работающий при постоянной разности температур около 10 °С [9]. В первом приближении, для расчета принимается площадь коллектора равная 4 м² для ИЖЗ №1, 5 м² – для ИЖЗ № 2, 6 м² – для ИЖЗ №3. Коэффициент тепловых потерь для таких коллекторов равен 4,2 Вт/(м²·°С), при этом коэффициент эффективности будет равен 0,91 (согласно РД 34.20.115-89 Методические указания по расчёту и проектированию систем солнечного теплоснабжения).

Теплопроизводительность коллектора для условий Воронежской области Q_u кВт, рассчитана по формуле:

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_o - T_i), \quad (4)$$

где, $\dot{m}$ – расход теплоносителя, кг/с, рассчитывается по следующей формуле [10]:

$$\dot{m} = \frac{-U_L F' A_c}{C_p \ln \left[1 - \frac{U_L (T_o - T_i)}{S - U_L (T_i - T_a)} \right]}, \quad (5)$$

где C_p – удельная теплоемкость воды, 4190 Дж/(кг·К); $(T_o - T_i)$ – постоянная разность температур; A_c – площадь коллектора, м²; F' – коэффициент эффективности коллектора; U_L – коэффициент тепловых потерь, Вт/(м²·°С); S – величина потока солнечного излучения, Вт/м²; T_i – температура теплоносителя на выходе из коллектора, °С, примем 65 °С; T_a – температура теплоносителя на входе в коллектор, °С, примем 20°С.

Полученные данные тепловой производительности коллекторов в теплый период года для обеспечения затрат тепла на горячее водоснабжение рассматриваемых ИЖЗ, а также расходы теплоносителя в коллекторе на основании опытных данных и данных из нормативной литературы сведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета технических параметров солнечных коллекторов

Источник	Затраты тепла на горячее водоснабжение, $Q_{\text{ГВ}}$, ГДж/ч			Расход теплоносителя, $\dot{m}$, кг/с			Теплопроизводительность коллектора, Q_u , кВт			Отклонение, Q_u , %	Отклонение, $\dot{m}$, %
	ИЖЗ №1	ИЖЗ №2	ИЖЗ №3	ИЖЗ №1	ИЖЗ №2	ИЖЗ №3	ИЖЗ №1	ИЖЗ №2	ИЖЗ №3		
Эксперимент [8]	1,25	1,6	2,09	0,0285	0,0357	0,0428	2,388	2,992	3,584	9,2	9,24
ГОСТ Р 53615-2009				0,0314	0,0393	0,0471	2,634	3,293	3,948	0	0
Пособие 2.91 к СНиП 2.04.05-09				0,0125	0,0156	0,0188	1,048	1,307	1,574	42,2	42,24
СП 131.13330.2025				0,0181	0,0227	0,0272	1,517	1,902	2,278	60,2	60,1

Анализ результатов расчетов, представленных в табл.3, показывает существенное расхождение между получаемыми результатами с использованием различных источников. При проектировании систем солнечного теплоснабжения важно корректно формировать исходные данные и стремиться к балансу между использованием справочных сведений и актуализацией информации с помощью экспериментальных данных. Это позволит избежать как занижения, так и завышения требуемой площади коллекторов, которая определяет капитальные затраты и эффективности системы.

С учетом проведенных исследований можно сформулировать ряд рекомендаций по оптимизации проектирования систем солнечного теплоснабжения в условиях Воронежской области:

- ✓ комплексное использование справочных и экспериментальных данных с обязательной верификацией;
- ✓ учёт пространственно-временной неоднородности инсоляции и локальных климатических факторов;
- ✓ применение динамических моделей расчёта с детализацией до почасовых значений.

Заключение.

Проведенный расчет теплопроизводительности солнечных водонагревательных установок в климатических условиях Воронежской области выявил значительные отклонения в результатах, получаемых при использовании в качестве исходных данных различных нормативных документов.

Сравнительный анализ полученных результатов позволил установить, что наиболее близкие к экспериментальным данным сведения по солнечному излучению представлены в ГОСТ Р 53615-2009, что позволяет рекомендовать его при проектировании солнечных установок горячего водоснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Курасов, И. С.** К вопросу определения ресурсов солнечной радиации на территории РФ / И. С. Курасов, Т. В. Щукина, Д. В. Лобанов // Сборник докладов Всероссийской конференции по теплогазоснабжению и вентиляции, посвященной 70-летию со дня образования БГТУ им. В. Г. Шухова: Сборник докладов, Белгород, 01...26 апреля 2024 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2024. – С. 157-161. – EDN DJSCBF.

2. **Курасов, И. С.** Повышение эффективности тепловых процессов преобразования излучения в плоских солнечных коллекторах / И. С. Курасов, Т. В. Щукина // Современные проблемы и решения в системах отопления, вентиляции и теплогазоснабжения: Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А. А. Ионина, Москва, 17...19 апреля 2024 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2024. – С. 5-12.

3. **Радинская, Е. И.** Проектное моделирование вариантов солнечного электроснабжения и оценка их эффективности / Е. И. Радинская, О. В. Телюк, И. С. Курасов // Студент-Наука: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 05...06 декабря 2022 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2022. – С. 37-40.

4. **Чаровская, Е. А.** Солнечные коллекторы и их применение для отопления общественных зданий / Е. А. Чаровская, Т. В. Богатова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 3-4(24-25). – С. 20-22.

5. **Голядкина, А. Д.** Сравнение эффективности работы трубчатого и плоского коллекторов в системе теплоснабжения здания / А. Д. Голядкина, А. Н. Красникова, А. А. Мерщев // Студент и наука. – 2022. – № 4(23). – С. 98-101.

6. **Адорский, А. П.** Оптимальное использование солнечных коллекторов в системах горячего водоснабжения / А. П. Адорский // Научный Лидер. – 2021. – № 40(42). – С. 124-126.

7. **Кривошеин, Ю. О.** Автоматизированная дуальная система горячего водоснабжения с использованием энергии солнца и газового котла / Ю. О. Кривошеин, Н. А. Цветков, А. Н. Хуторной // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 1(60). – С. 162-173.

8. **Мерщев, А. А.** Оценка интенсивности и потока прямого солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность помещения / С. А. Яременко, Р. А. Шепс, Д. В. Лобанов // Альтернативная и интеллектуальная энергетика: Материалы II Международной научно-практической конференции, Воронеж, 16–18 сентября 2020 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2020. – С. 157-158.

9. **Lof G.O.G., Close D.J.** Solar Water Heaters // Low Temperature Engineering Application of Solar Energy, Ed. R.C. Jordan. ASHRAE. New York, 1967.

10. **Даффи, Джон.** Основы солнечной теплоэнергетики. – Долгопрудный: ИД Интеллект, 2013. – 889 с.

Поступила в редакцию 15 апреля 2026

COMPARISON OF SOLAR COLLECTORS' CALCULATION USING VARIOUS DATA SOURCES ON SOLAR RADIATION FLOWS IN THE VORONEZH REGION

A. A. Mershchiev, A. D. Golyadkina, D. V. Lobanov

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: sasha1990@mail.ru
Anna Dmitrievna Golyadkina, student of bTV-201 group of the Faculty of Engineering Systems and Structures, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: nutagolyadkina@mail.ru
Dmitry Valeryevich Lobanov, Senior Lecturer, Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: LDV-36@mail.ru

The paper presents the results of calculating the heat output, coolant flow rate, and heating surface area of flat solar collectors for private residential hot water supply systems in the climatic conditions of the Voronezh region. The calculations were performed using solar radiation data from various reference sources, as well as based on experimental data. A significant discrepancy was found between the experimental data and the reference values. We show that taking into account local experimental data can reduce the error in calculating the collector area and reduce capital costs. The results can be used in the design of energy-efficient heating systems for individual housing construction.

Keywords: solar collector; heat supply; coolant consumption; energy efficiency.

REFERENCES

1. **Kurasov I. S., Shchukina T. V., Lobanov D. V.** *On the issue of determining the resources of solar radiation in the territory of the Russian Federation.* Collection of reports of the All-Russian Conference on Heat and Gas Supply and Ventilation dedicated to the 70th anniversary of the founding of the BSTU named after V.G. Shukhov: Collection of reports, Belgorod,

April 01...26, 2024 of the year. Belgorod, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2024. Pp. 157-161. (in Russian)

2. **Kurasov I. S., Shchukina T. V.** *Improving the efficiency of thermal radiation conversion processes in flat solar collectors*. Modern problems and solutions in heating, ventilation and heat and gas supply systems: Collection of reports of the II All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor A. A. Ionin, Moscow, April 17...19, 2024. Moscow, National Research Moscow State University of Civil Engineering. 2024. Pp. 5-12. (in Russian)

3. **Radinskaya E. I., Telyuk O. V., Kurasov I. S.** *Design modeling of solar power supply options and assessment of their effectiveness*. Student-Science: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, 05...06 December 2022. Voronezh, Voronezh State Technical University. 2022. Pp. 37-40. (in Russian)

4. **Charovskaya E. A., Bogatova T. V.** *Solar collectors and their application for heating public buildings*. *Scientific Journal. Engineering Systems and Structures*. 2016. No. 3-4(24-25). Pp. 20-22. (in Russian)

5. **Golyadkina A. D., Krasnikova A. N., Mershchiev A. A.** *Comparison of the efficiency of tubular and flat collectors in the building's heat supply system*. *Student and Science*. 2022. No. 4(23). Pp. 98-101. (in Russian)

6. **Adorsky A. P.** *Optimal Use of Solar Collectors in Hot Water Supply Systems*. *Nauchnyi Lider*. 2021. No. 40(42). Pp. 124-126. (in Russian)

7. **Krivoshein Yu. O., Tsvetkov N. A., Khutornoy A. N.** *Automated dual system of hot water supply using solar energy and a gas boiler*. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2017. No. 1(60). Pp. 162-173. (in Russian)

8. **Mershchiev A. A., Yaremenko S. A., Sheps R. A., Lobanov D. V.** *Assessment of the intensity and flux of direct solar radiation incident on the horizontal surface of a room*. *Alternative and intelligent energy: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference, Voronezh, September 16-18, 2020*. Voronezh. Voronezh State Technical University. 2020. Pp. 157-158. (in Russian)

9. **Lof G. O. G.** *Close D.J. Solar Water Heaters*. *Low Temperature Engineering Application of Solar Energy*, Ed. R.C. Jordan. ASHRAE. New York, 1967.

10. **Duffy, John.** *Fundamentals of solar thermal power engineering*. Dolgoprudny. ID Intellect. 2013. 889 p.

Received 15 April 2026

Для цитирования:

Мерщичев, А. А. Сравнение расчета солнечных коллекторов с использованием различных источников данных по потокам солнечного излучения в Воронежской области / А. А. Мерщичев, А. Д. Голядкина, Д. В. Лобанов // *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура*. – 2026. – № 2(37). – С. 28-33. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.003.

For citation:

Mershchiev A. A., Golyadkina A. D., Lobanov D. V. *Comparison of solar collectors' calculation using various data sources on solar radiation flows in the Voronezh region*. *Housing and utilities infrastructure*. 2026. No. 2(37). Pp. 28-33. DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.003. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.004

УДК 696.2:620.179.1

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВНУТРИДОМОВЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

А. В. Руколеев

Руколеев Андрей Владимирович, канд. ист. наук, доцент кафедры химических технологий, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», Бийск, Российская Федерация, тел.: +7(961)243-03-68; e-mail: rukoleev.av@yandex.ru

В статье представлена методика комплексной оценки технического состояния и безопасности эксплуатации внутридомовых газопроводов (ВДГ) жилых зданий, ориентированная на практическое применение обслуживающими организациями и органами муниципального управления жилищным фондом. Методика объединяет анализ проектной и исполнительной документации, визуальный контроль доступных участков, локализацию дефектов и инструментальную диагностику с применением газоанализаторов (течеискателей), ультразвуковой толщинометрии, а также контроль герметичности соединений после ремонтных воздействий. Нормативной основой являются требования СП 62.13330.2011 «Газораспределительные системы», положения РД 09-102-95 в части назначения остаточного ресурса после истечения нормативного срока службы стальных газопроводов (30 лет) и требования Постановления Правительства РФ от 14.05.2013 № 410. На примере обследований объектов жилого фонда г. Бийска показано, что ключевыми факторами снижения надёжности являются коррозионное истончение стенок труб и нарушение герметичности резьбовых и сварных соединений, при этом неблагоприятные микроклиматические условия (повышенная влажность, недостаточная вентиляция) ускоряют деградационные процессы. Приведены расчётные показатели надёжности (интенсивность отказов, коэффициент готовности, вероятность отказа), подход к классификации технического состояния участков и назначению остаточного ресурса. Сформулированы рекомендации по определению очередности ремонтных мероприятий, периодичности диагностик и профилактике отказов, включая меры по поддержанию защитных покрытий и повышению качества технического обслуживания.

Ключевые слова: газоснабжение; эксплуатация; жилые здания; диагностика; срок службы; остаточный ресурс.

Газоснабжение является одной из наиболее ответственных инженерных систем жилых зданий, поскольку напрямую связано с безопасностью жизни и здоровья населения. В современных условиях эксплуатации, особенно в старом жилом фонде, актуальность обеспечения надёжности и безопасности внутридомовых газопроводов (ВДГ) существенно возрастает. Значительная часть внутридомовых сетей в России была смонтирована в период массовой газификации (конец 1950-х — 1980-е годы), и к настоящему времени фактический срок службы многих участков превышает 50 лет, что больше нормативного срока эксплуатации стальных газопроводов (30 лет), применяемого в практике безопасности и обслуживания, а также отраженного в требованиях Постановления Правительства РФ от 14.05.2013 № 410.

Деградация ВДГ обусловлена старением металлоконструкций, коррозионным истончением стенок труб, нарушением герметичности соединений и разрушением защитных покрытий. По данным Романовой Т. Н. [1], около 60 % утечек газа во внутридомовых сетях связано с нарушением герметичности стыков и дефектами сварных швов. При этом

визуальные осмотры выявляют лишь ограниченную часть дефектов: по оценкам авторов статьи [2], доля обнаруживаемых визуально повреждений составляет порядка 20...25 %, тогда как основная часть выявляется только инструментальными методами.

ВДГ являются завершающим звеном системы газоснабжения здания и представляет сеть трубопроводов от ввода до газоиспользующего оборудования. Сети характеризуются малыми диаметрами (ориентировочно 15...50 мм), рабочим давлением до 0,005 МПа и размещением в условиях, затрудняющих осмотр. Закрытая прокладка и стесненность помещений, как отмечает Пузиков С. А. [3], увеличивают значение неразрушающего контроля и регламентированных обследований. Проблемы систематизации данных обследований и формальности решений о продлении ресурса отмечаются в работах по безопасной эксплуатации бытовых газовых систем [4]. Существенное влияние на аварийность оказывает организационный фактор (качество обслуживания, соблюдение регламентов, квалификация персонала), что подчеркивается в исследованиях [5, 6]. В связи с этим разработка и применение унифицированной методики комплексной оценки состояния ВДГ, включающей диагностику, расчет надежности и назначение остаточного ресурса, является актуальной задачей для организаций ЖКХ и муниципального управления жилищным фондом.

Цель исследования – разработать и представить методику комплексной оценки технического состояния и безопасности эксплуатации ВДГ жилых зданий, обеспечивающую обоснование остаточного ресурса и формирование рекомендаций по продлению срока безопасной эксплуатации на примере объектов г. Бийска.

Методика опирается на анализ проектной и исполнительной документации, визуальный контроль, газоанализ и течеискание, ультразвуковую толщинометрию, контроль герметичности соединений, а также коррозиометрические, потенциометрические измерения для оценки агрессивности среды в зонах контакта металла с бетоном.

На этапе документального анализа уточняются схема трассировки ВДГ, расположение стояков и подводок, типы соединений (сварные/резьбовые), наличие запорной арматуры и мест отключения, сведения о предыдущих ремонтах и испытаниях, а также полнота и актуальность исполнительных схем. Дополнительно учитываются эксплуатационные условия (подвальные помещения, кухни, зоны повышенной влажности), которые определяют вероятность ускоренной коррозии и локального истончения стенки.

Подход к использованию ультразвуковой толщинометрии как метода определения остаточной толщины стенки согласуется с рекомендациями по диагностике стальных трубопроводов [7] и применяется для выявления зон минимальной толщины (лимитирующих ресурс участка).

Для расчётной части используются показатели надежности: интенсивность отказов, коэффициент готовности и вероятность отказа. Интенсивность отказов отражает частоту появления дефектов в расчёте на единицу длины и времени эксплуатации и применяется для сравнения участков и объектов между собой; коэффициент готовности характеризует долю времени работоспособного состояния системы, учитывая простои на устранение неисправностей; вероятность отказа используется для прогнозной оценки риска на заданном горизонте. Вероятностные подходы к оценке остаточного ресурса и предельного срока эксплуатации, применяемые при прогнозировании деградации, рассматриваются в работе [8].

Комплексная оценка включает подготовительный, полевой и аналитический этапы и основана на требованиях СП 62.13330.2011 «Газораспределительные системы», РД 09-102-95 (в части назначения остаточного ресурса) и Постановления Правительства РФ № 410. На подготовительном этапе изучаются проектные и исполнительные схемы, паспорта труб и арматуры, места расположения стояков, резьбовых и сварных соединений, а также условия эксплуатации (влажность, вентиляция, доступность осмотра). Это позволяет сформировать перечень контрольных точек и выделить зоны повышенного риска: ста-

рые сварные швы, участки в подвалах и кухнях, зоны пересечения коммуникаций, а также места с признаками периодического увлажнения и температурных перепадов.

Полевой этап начинается с визуального осмотра доступных участков. Оцениваются состояние окраски и изоляции, наличие коррозии (в том числе язвенной), следы утечек, состояние креплений и запорной арматуры, наличие механических повреждений и деформаций.

Далее выполняется инструментальная диагностика: газоанализ и течеискание применяются для локализации утечек и контроля концентрации метана в местах соединений и вводов; ультразвуковая толщинометрия используется для определения остаточной толщины стенок и выявления зон истончения (в первую очередь – в подвалах и местах контакта с бетоном); контроль герметичности проводится после ремонтных воздействий (герметизация резьб, замена фитингов, сварочные работы); оценка коррозионной активности среды выполняется по коррозиометрическим (потенциометрическим) измерениям в характерных зонах. Вопрос качества выполнения ремонтных работ и контроля после ремонта является критичным, поскольку повторные утечки часто связаны с недостаточным контролем герметичности и несоблюдением требований технического обслуживания [9]. При интерпретации результатов толщинометрии применяется пороговый критерий СП 62.13330.2011: при снижении толщины стенки менее 70 % от первоначальной соответствующий участок подлежит ремонту или замене, поскольку дальнейшая эксплуатация без восстановительных мероприятий рассматривается как недопустимая с точки зрения безопасности.

Аналитический этап включает обработку результатов измерений, формирование карты дефектов и дефектной ведомости, а также классификацию технического состояния участков: «работоспособное», «ограниченно работоспособное» и «неработоспособное». Решение о продлении срока службы принимается комиссионно и оформляется актом технического состояния и заключением о возможности эксплуатации, где указываются назначенный ресурс, перечень дефектов, сроки и приоритетность их устранения, а также рекомендуемая периодичность повторной диагностики.

Методика включает экономическую оценку целесообразности продления эксплуатации: регулярная диагностика с периодичностью около 3 лет снижает совокупные затраты на ликвидацию аварийных ситуаций на 25...30 % за счёт перехода от аварийных ремонтов к плано-предупредительным.

Для количественной оценки надёжности используется интенсивность отказов, определяемая как отношение числа дефектов за период наблюдения к длине трубопровода и времени эксплуатации:

$$\lambda = \frac{n}{L \cdot t}, \quad (1)$$

где λ – интенсивность отказов, 1/(год·м); n – число зарегистрированных дефектов; L – длина обследуемого участка, м; t – время эксплуатации (или период наблюдения), лет.

Для оценки риска отказов используется зависимость вероятности отказа:

$$P = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Коэффициент готовности K_g используется как интегральная характеристика способности системы сохранять работоспособность при действии эксплуатационных факторов; применение данного показателя в задачах надёжности систем газоснабжения обосновано в исследованиях по оптимизации и оценке надёжности городских сетей [10].

В общем виде коэффициент готовности определяется соотношением времени работоспособного состояния к суммарному времени работы и восстановления:

$$K_g = \frac{T_{\text{раб}}}{T_{\text{раб}} + T_{\text{восст}}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{раб}}$ – суммарное время работоспособного состояния (наработка), ч (или год); $T_{\text{восст}}$ – суммарное время восстановления (простой из-за ремонтов и устранения дефектов), ч (или год).

В весенне-летний период 2025 года на объектах жилого фонда г. Бийска выполнены комплексные обследования. Общая обследованная протяжённость внутридомовых газопроводов составила 2,3 км. Возраст исследуемых систем – от 28 до 55 лет; более 60 % участков эксплуатируются сверх нормативного срока службы.

Визуальное обследование показало, что защитная окраска частично утрачена на 47 % участков, следы коррозии обнаружены на 35 %, признаки прежних утечек – на 8 %. Инструментальные измерения выявили активную коррозию в помещениях с повышенной влажностью (подвалы, кухни при недостаточной вентиляции) и локальное разрушение изоляции. Наиболее показательны результаты ультразвуковой толщинометрии: средняя остаточная толщина стенок составила 2,7 мм при номинальной 3,5 мм (около 77 %). Доля участков с толщиной менее 70 % составила порядка 6 %, что классифицируется как недопустимое состояние и требует ремонта либо замены согласно СП 62.13330.2011.

Газоанализ подтвердил наличие локальных утечек в отдельных зданиях: концентрации метана у соединений находились в диапазоне 0,05–0,12 % объема при ПДК 1 %. Эти значения не являются аварийными, однако требуют устранения неплотностей; после герметизации резьбовых соединений контрольные измерения подтвердили устранение утечек.

В динамике изменения технических параметров ВДГО ключевую роль играет возраст трубопровода. Для наглядного представления полученных результатов построены зависимости остаточной толщины стенки, интенсивности дефектов и коэффициента готовности от возраста сети (рис. 1...3).

На рис. 1 представлена гистограмма распределения средней остаточной толщины стенок труб внутридомовых газопроводов по возрастным группам.

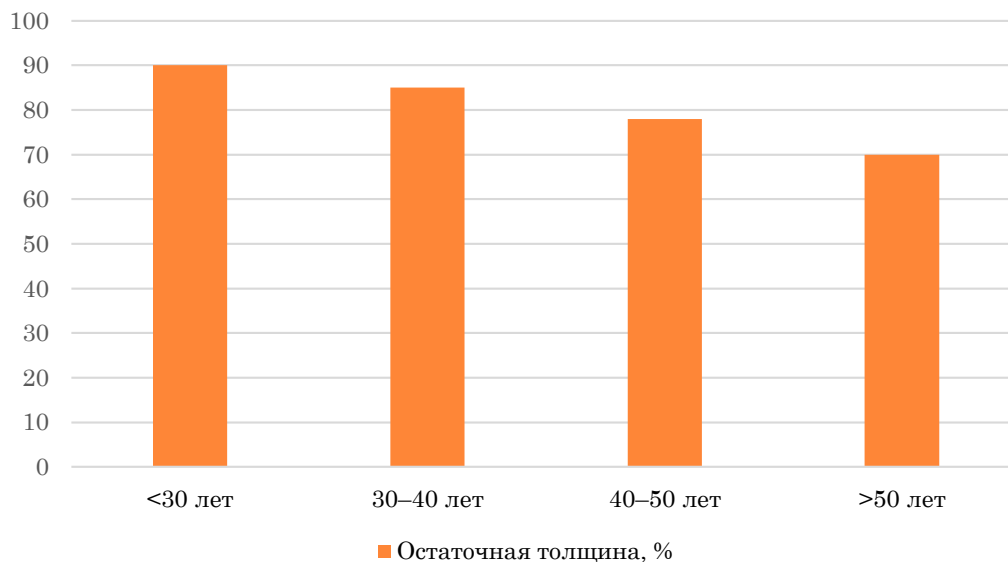


Рис. 1. Распределение остаточной толщины стенок по возрастным группам

Наблюдается устойчивая тенденция снижения показателя по мере увеличения срока эксплуатации: для газопроводов моложе 30 лет средняя остаточная толщина составляет около 90 % от номинальной, в группе 30...40 лет – порядка 80...90 %, далее в группе 40...50 лет происходит более заметное уменьшение, а для трубопроводов старше 50 лет показатель приближается к 70 %. Такая динамика соответствует коррозионному механизму деградации: при длительной эксплуатации защитные покрытия утрачивают эффективность, в зонах повышенной влажности и температурных колебаний ускоряются электрохимические процессы, что приводит к накоплению локальных потерь металла и общему истончению стенки.

Особое внимание следует обратить на возрастной интервал после 40 лет эксплуатации. Именно в этой зоне снижение толщины становится более интенсивным, что может быть связано с достижением критического состояния покрытия, накоплением коррозионных очагов и ростом доли участков с локальными дефектами (язвы, питтинг). Практически это означает, что для сетей возрастом более 40 лет необходимо переходить от периодических визуальных проверок к регулярной инструментальной диагностике (прежде всего ультразвуковой толщинометрии), поскольку именно она позволяет выявить лимитирующие участки с минимальной толщиной стенки.

Полученная зависимость имеет прикладное значение для управления эксплуатацией ВДГ:

- ✓ возраст может использоваться как первичный критерий риск-ориентированного отбора объектов на обследование;
- ✓ при достижении 40...45 лет целесообразно сокращать междиagnostический интервал и усиливать контроль зон повышенной коррозионной опасности (подвалы, кухни, места контакта с бетоном, резьбовые соединения);
- ✓ приближение средней остаточной толщины к 70 % от номинальной следует рассматривать как сигнал к планированию ремонта или замены отдельных участков с обязательным подтверждением по минимальным значениям толщины в контрольных точках.

На рис. 2 показана зависимость интенсивности выявленных дефектов (в единицах 10^{-4} 1/год·м) от возраста внутридомовых газопроводов. Линия тренда демонстрирует устойчивый рост числа дефектов по мере старения системы: от $2,5 \times 10^{-4}$ у газопроводов младше 30 лет до $5,6 \times 10^{-4}$ у сетей старше 50 лет. График иллюстрирует увеличение частоты отказов в связи с накоплением усталостных и коррозионных повреждений. Такая зависимость характерна для стальных труб, эксплуатируемых в бытовых условиях при постоянных температурно-влажностных колебаниях.

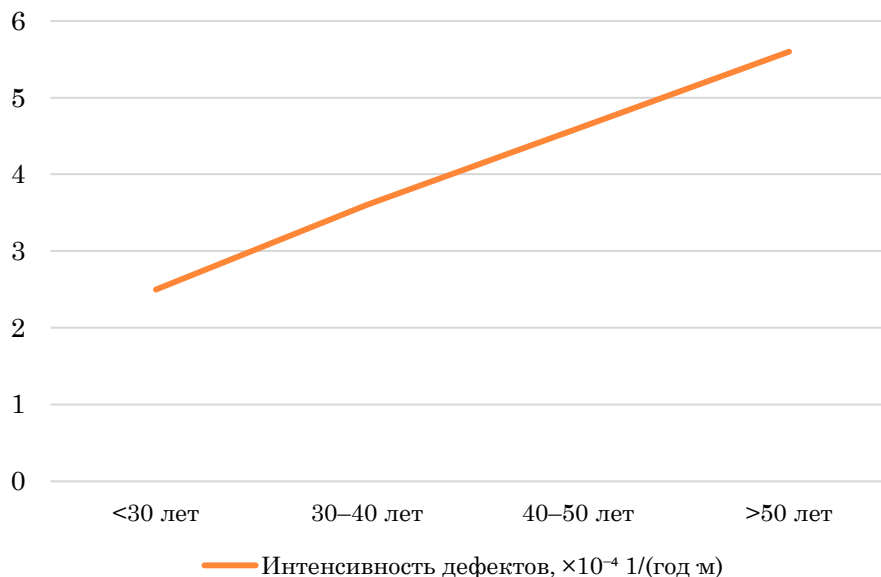


Рис. 2. Интенсивность дефектов по возрастным группам

Рост λ объясняется совокупным влиянием коррозионного истончения стенки, деградации уплотнений и резьбовых соединений, старения сварных швов, а также воздействием эксплуатационной среды (влажность, загрязнение помещений, температурные колебания). В молодых возрастных группах дефекты возникают преимущественно эпизодически и локально, тогда как после 40 лет эксплуатации наблюдается рост частоты выявления дефектов, что согласуется с ускорением процессов износа и увеличением доли проблемных зон, требующих текущего ремонта. Практически это означает, что при одинаковых регламен-

тах обслуживания для разных возрастных групп фактический риск возникновения дефектов будет существенно различаться.

Полученная зависимость может использоваться в риск-ориентированном планировании обследований и ремонтов. Во-первых, увеличение λ служит количественным обоснованием сокращения междиагностического интервала для сетей возрастом более 40 лет. Во-вторых, рост интенсивности дефектов позволяет формировать приоритетность ремонтных мероприятий: при равной протяжённости и сравнимых условиях эксплуатации наиболее высокий приоритет должны получать участки старших возрастных групп и зоны с неблагоприятным микроклиматом. В-третьих, использование λ совместно с вероятностной моделью отказа позволяет оценивать риск возникновения дефектов на заданном горизонте времени и обосновывать назначение остаточного ресурса.

На рис. 3 показана зависимость коэффициента готовности K_g от возраста газопроводов. Коэффициент готовности является интегральным показателем эксплуатационной надёжности и отражает долю времени, в течение которого система находится в работоспособном состоянии, по отношению к суммарному времени работы и восстановления.

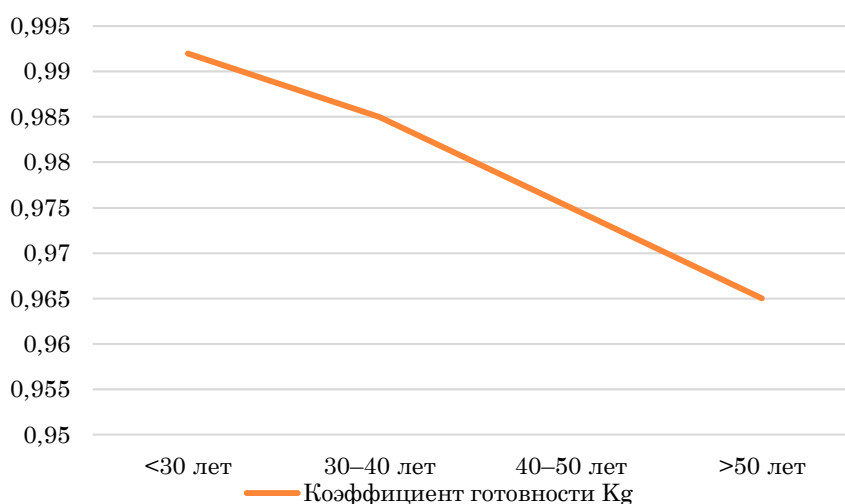


Рис. 3. Зависимость коэффициента готовности от возраста

Полученная кривая демонстрирует закономерное снижение K_g по мере увеличения срока эксплуатации: от 0,992 для сетей возрастом 25...30 лет до 0,965 для газопроводов старше 50 лет. Такое снижение указывает на рост доли времени, затрачиваемого на устранение дефектов, проведение внеплановых ремонтов и восстановительные операции.

Снижение K_g является следствием увеличения частоты дефектов и усложнения ремонтных работ на стареющих участках. При переходе к возрасту 40 лет возрастает вероятность локальных утечек, увеличивается доля соединений, требующих подтяжки/замены уплотнений, а также количество мест, где требуется более трудоёмкий ремонт (в том числе замена фрагментов трубопровода).

Дополнительно на величину K_g влияет организационный фактор: качество технического обслуживания, своевременность выявления дефектов и длительность восстановительных работ. Поэтому показатель K_g целесообразно рассматривать не только как характеристику физического состояния трубопровода, но и как индикатор эффективности эксплуатационного управления.

Практическая интерпретация зависимости на рис. 3 состоит в следующем. Во-первых, снижение K_g после 40 лет эксплуатации можно использовать как критерий для обоснования перехода к более частой инструментальной диагностике и увеличения доли планово-предупредительных работ. Во-вторых, динамика K_g позволяет оценивать эффективность ремонтных программ: при системных мероприятиях (восстановление покрытия,

замена узлов, герметизация соединений, локальная замена участков) снижение коэффициента может быть замедлено. В-третьих, при достижении уровней K_g , близких к нижней границе допустимых для безопасной эксплуатации, целесообразно рассматривать вариант капитальной модернизации или реконструкции отдельных участков, поскольку дальнейшая эксплуатация приводит к росту внеплановых простоев и снижению общей устойчивости системы.

Структура выявленных дефектов показала преобладание двух групп нарушений:

- ✓ первая – снижение герметичности соединений (резьбовых стыков, участков переходов, зон присоединения арматуры и подводок);
- ✓ вторая – коррозионное истончение стенки трубопроводов.

Доминирование указанных дефектов объясняется тем, что соединения являются наиболее уязвимыми элементами ВДГ из-за циклических нагрузок, старения уплотнительных материалов и ослабления резьбовых соединений, тогда как стенки трубопроводов в условиях переменной влажности и температурных колебаний подвержены ускоренному электрохимическому разрушению. Полученный профиль дефектов согласуется с выводами о проблемных аспектах безопасной эксплуатации бытовых газовых систем [4] и результатами анализа аварийности при эксплуатации ВДГ [6], где акцентируется роль утечек в соединениях и коррозионного износа как наиболее частых причин предаварийных состояний.

Дополнительно подтверждено влияние качества обслуживания на темпы деградации: в домах с регулярной профилактикой (в том числе восстановлением окраски и своевременной обработкой коррозионных очагов) средняя остаточная толщина стенки оказалась на 10...12 % выше, чем в домах без системной профилактики. Это позволяет рассматривать состояние защитного покрытия и соблюдение регламента технического обслуживания как управляемые факторы, способные существенно продлевать ресурс ВДГО и снижать вероятность возникновения дефектов.

Показатели надежности использовались для количественной оценки риска и назначения остаточного ресурса. Установлено, что интенсивность отказов по обследованной выборке возрастает с увеличением срока эксплуатации, что отражает накопительный характер деградации и переход системы к «износной» стадии жизненного цикла. На практике это означает, что для объектов старших возрастных групп целесообразно сокращать междиагностический интервал и повышать долю инструментального контроля, поскольку именно в этот период возрастает вероятность выхода отдельных участков за допустимые пределы по толщине стенки и герметичности.

Применение зависимости (2) позволяет оценивать вероятность отказа при заданной интенсивности и выбранном горизонте прогноза, а вероятностные подходы к определению предельных сроков эксплуатации и обоснованию остаточного ресурса подтверждаются в работе [8]. По результатам обследований средний остаточный ресурс составил 6,5 года при условии выполнения текущих ремонтов и устранения дефектов, выявленных инструментальным контролем. Для части объектов остаточный ресурс оказался менее 3 лет, что потребовало рекомендаций о замене соответствующих участков. Таким образом, использование расчетных показателей надежности совместно с критериями технического состояния позволяет обосновывать решения по приоритетности ремонтных мероприятий: первоочередно – участки с утечками на соединениях и/или критическим истончением стенки, далее – элементы с высоким темпом деградации по результатам динамических оценок.

Заключение.

Представлена методика комплексной оценки технического состояния и безопасности эксплуатации внутридомовых газопроводов жилых зданий, включающая анализ документации, визуальный и инструментальный контроль, классификацию состояния участков,

расчет показателей надежности и назначение остаточного ресурса. Методика опирается на требования СП 62.13330.2011, РД 09-102-95 (в части назначения остаточного ресурса) и Постановления Правительства РФ № 410.

Применение методики на объектах жилого фонда г. Бийска показало, что ключевыми факторами деградации внутридомовых газопроводов являются коррозионное истончение стенок труб и нарушение герметичности резьбовых и сварных соединений, а неблагоприятные микроклиматические условия ускоряют развитие дефектов.

Установлено, что визуальный контроль не обеспечивает достаточной полноты выявления дефектов, а надежная оценка требует инструментальной диагностики. Расчетные показатели надежности (интенсивность отказов, коэффициент готовности, вероятность отказа) позволяют количественно обосновывать решения о ремонте, замене и продлении эксплуатации.

Практическая значимость результатов заключается в возможности внедрения методики в работу обслуживающих организаций и муниципальных структур для определения очередности ремонтных мероприятий, повышения безопасности эксплуатации внутридомовых газопроводов и оптимизации затрат на обслуживание.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Романова, Т. Н.** Обеспечение безопасности при эксплуатации бытового газового оборудования / Т. Н. Романова // Строительство и техногенная безопасность. – 2018. – № 13(65). – С. 113-120.
2. **Кузнецова, Г. А.** Техническое диагностирование внутридомового газового оборудования как способ продления срока его эксплуатации / Г. А. Кузнецова, Д. Ю. Шафеев, С. Н. Кузнецов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2021. – № 4(25). – С. 6-15.
3. **Пузиков, С. А.** Особенности правового регулирования отношений, возникающих в сфере технического обслуживания внутридомового газового оборудования (ТО ВДГО) / С. А. Пузиков // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 72-6. – С. 107-109.
4. **Репин, С. В.** Проблемные вопросы в обеспечения безопасной эксплуатации бытовых газовых систем / С. В. Репин, М. О. Берестевич // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2019. – № 1(10). – С. 355-358.
5. **Медведева, О. Н.** Определение вероятности возникновения аварий на сетях газораспределения и газопотребления / О. Н. Медведева, А. Ю. Чиликин // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16. – № 10. – С. 1363-1377.
6. **Удовиченко, З. В.** Безопасная эксплуатация внутридомовых систем газоснабжения / З. В. Удовиченко, Я. В. Смирнова // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – № 3(143). – С. 72-77.
7. **Чистякова, А. В.** Диагностика технического состояния металлических трубопроводов / А. В. Чистякова, В. А. Орлов, В. А. Чухин // Природообустройство. – 2016. – № 2. – С. 48-54.
8. **Сызранцев, В. Н.** Расчетно-экспериментальная методика оценки остаточного ресурса газопровода по усталостной прочности / В. Н. Сызранцев, К. В. Сызранцева // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 12. – С. 64-74.
9. **Садырин, Р. С.** Контроль качества ремонта газопровода многоквартирных жилых домов / Р. С. Садырин // Научный журнал. – 2019. – № 9(43). – С. 22-23.

10. **Боровский, Б. И.** Оптимизация систем газоснабжения городских микрорайонов / Б. И. Боровский, М. О. Кунский // Строительство и техногенная безопасность. – 2014. – № 50. – С. 29-33.

11. **Журин, А. М.** Алгоритм включения ВДГО в программу капитального ремонта / А. М. Журин // Вестник науки. – 2023. – № 5(62). – С.441-445.

Поступила в редакцию 4 марта 2026

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION AND DESIGNATION OF THE RESIDUAL RESOURCE OF INDOOR GAS PIPELINES IN RESIDENTIAL BUILDINGS

A. V. Rukoleev

Andrey Vladimirovich Rukoleev, Cand. Sc. (History), Associate Professor of the Department of Chemical Technologies, Biysk Technological Institute (branch) of the Altai State Technical University named after I. I. Polzunov, Biysk, Russia, tel.: +7(961)243-03-68; e-mail: rukoleev.av@yandex.ru

The article presents a methodology for a comprehensive assessment of the technical condition and safety of operation of indoor gas pipelines of residential buildings, which is focused on practical application by maintenance organizations and municipal housing management bodies. The methodology combines the analysis of design and executive documentation, visual inspection of accessible areas, localization of defects and instrumental diagnostics using gas analyzers (leak detectors), ultrasonic thicknessometry, as well as the control of the tightness of joints after repair actions. The regulatory basis is the requirements of SP 62.13330.2011 "Gas Distribution Systems", the provisions of RD 09-102-95 regarding the residual resource after the standard service life of steel gas pipelines (30 years), and the requirements of Government Decree No. 410 dated May 14, 2013. Based on the results of surveys of residential buildings in Biysk-city, I found that the key factors contributing to reduced reliability are corrosion-induced thinning of pipe walls and leakage in threaded and welded joints, high humidity and insufficient ventilation accelerate degradation processes. The paper presents calculated reliability indicators (failure rate, availability factor, and probability of failure), an approach to classifying the technical condition of sections, and the assignment of residual resource. I as well formulated recommendations for determining the priority of repair actions, the frequency of diagnostics, and the prevention of failures, including measures to maintain protective coatings and improve the quality of maintenance.

Keywords: gas supply; operation; residential buildings; diagnostics; service life; residual resource.

REFERENCES

1. **Romanova T. N.** *Ensuring Safety in the Operation of Household Gas Equipment*. Construction and Technogenic Safety. 2018. No. 13(65). Pp. 113-120. (in Russian)
2. **Kuznetsova G. A., Shafeev D. Yu., Kuznetsov S. N.** *Technical Diagnostics of Domestic Gas Equipment as a Way to Extend Its Service Life*. Urban Planning. Infrastructure. Communications. 2021. No. 4(25). Pp. 6-15. (in Russian)
3. **Puzikov S. A.** *Features of legal regulation of relations arising in the sphere of technical maintenance of indoor gas equipment (TO VDGO)*. Tendencies of development of science and education. 2021. No. 72-6. Pp. 107-109. (in Russian)
4. **Repin S. V., Berestevich M. O.** *Problematic issues in ensuring the safe operation of household gas systems*. Modern technologies for ensuring civil defense and eliminating the consequences of emergencies. 2019. No. 1(10). Pp. 355-358. (in Russian)

5. **Medvedeva O. N., Chilikin A. Yu.** *Determining the Probability of Accidents in Gas Distribution and Gas Consumption Networks.* Vestnik MGSU. 2021. Vol. 16, No. 10. Pp. 1363-1377. (in Russian)
6. **Udovichenko Z. V., Smirnova Ya. V.** *Safe Operation of Domestic Gas Supply Systems.* Bulletin of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. 2020. No. 3(143). Pp. 72-77. (in Russian)
7. **Chistyakova A.V., Orlov V. A., Chukhin V. A.** *Diagnostics of the technical condition of metal pipelines.* Environmental management. 2016. No 2. Pp. 48-54. (in Russian)
8. **Syzrantsev V. N., Syzrantseva K. V.** *Computational and experimental methodology for estimating the residual resource of a gas pipeline by fatigue strength.* News of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering. 2019. Vol. 330, No. 12. Pp. 64-74. (in Russian)
9. **Sadyrin, R. S.** *Quality control of repair of gas pipeline of apartment buildings.* Scientific journal. 2019. No. 9(43). Pp. 22-23. (in Russian)
10. **Borovsky B. I., Kunsky M. O.** *Optimization of gas supply systems of urban microdistricts.* Construction and technogenic safety. 2014. No. 50. Pp. 29-33. (in Russian)
11. **Zhurin A. M.** *Algorithm of inclusion of VDGO in the program of capital repairs.* Bulletin of science. 2023. No. 5 (62). Pp.441-445. (in Russian)

Received 4 March 2026

Для цитирования:

Руколеев, А. В. Комплексная оценка технического состояния и назначение остаточного ресурса внутридомовых газопроводов жилых зданий / А. В. Руколеев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 2(37). – С. 34-43. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.004.

For citation:

Rukoleev A. V. *Comprehensive assessment of the technical condition and designation of the residual resource of indoor gas pipelines in residential buildings.* Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 2(37). Pp. 34-43. DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.004. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.005

УДК 666.723:53.093

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ ТОЧКИ РОСЫ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПО ВОДЕ УПРОЩЕННЫМ МЕТОДОМ

Д. Н. Китаев

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

Применение адекватных математических моделей, способствующих повышению точности расчетов физических свойств природного газа, эффективности и безопасности его использования в жилищно-коммунальном хозяйстве городов, соответствует задачам цифровой трансформации экономики Российской Федерации. Одной из важнейших характеристик природного газа, оказывающей значительное влияние на температуру точки росы, является массовая концентрация водяных паров, которая постоянно контролируется в городских газовых сетях. Повышенная концентрация влаги повышает риск аварий, понижает эффективность и надежность систем газоснабжения. Значения температуры точки росы, найденные в результате фактических измерений конденсационным гигрометром, всегда ниже истинной термодинамической температуры и зависят от метрологической характеристики измерительной системы и алгоритма средств измерений. С 1.01.2023 г. в РФ действует ГОСТ 34807-2021, регламентирующий методы расчета температуры точки росы по воде и массовой концентрации водяных паров для природного газа, в том числе и коммунально-бытового назначения. В статье приводятся результаты исследования адекватности уравнения, рекомендуемого ГОСТ в качестве первого приближения при вычислении температуры точки росы упрощенным методом, в диапазоне давлений распределительных городских систем газоснабжения. Получены уравнения, обладающие большей точностью при применении в качестве первого приближения при реализации вычислительного алгоритма, позволяющие значительно сократить объем вычислений без использования специализированного программного обеспечения.

Ключевые слова: газоснабжение; газопроводы; температура точки росы; метод расчета.

Важнейшим показателем природного газа, применяемого в коммунальной инфраструктуре городов в качестве топлива, является концентрация водяных паров и связанная с ней точка росы по воде. Значительное содержание в природном газе влаги в сочетании с низкими температурами может приводить к конденсации, следствием которой является коррозия трубопроводов и оборудования [1, 2].

Причинами повышения точки росы в газопроводах могут служить попадание жидкости в полость при авариях и проведении строительно-монтажных работ, осуществление внутритрубной диагностики и изменение режимов и скоростей потоков газа, остатки воды в результате гидравлических испытаний [3]. Современные нормативы не регламентируют качество осушки газа после завершения ремонтов газопроводов [4].

По мнению ряда исследователей, в настоящее время на значительном количестве установок по подготовке газа к транспортировке наблюдаются отклонения от нормативов в части осушки [5...7]. Причиной является износ основного оборудования и изменение компонентного состава газа за период эксплуатации. Недостаточная осушка газа в сочетании с отрицательными температурами приводит к образованию кристаллогидратных пробок не только в магистральных газопроводах, но и в процессе редуцирования в городских сетях, что вызывает нарушение режимов работы газораспределительных станций и

регуляторных пунктов, способствует закупорке импульсных трубок, поломке контрольно-измерительных приборов и автоматики, нарушению режимов газоснабжения [8, 9].

В соответствии с современными нормативами в области расчета термодинамических свойств природного газа, за температуру точки росы по воде $t_{TP\phi}$ при заданном давлении принимается температура начала конденсации водяных паров в процессе изобарного охлаждения (ГОСТ 34807-2021). На практике актуально использование расчетных методов для вычисления истинной термодинамической температуры $t_{TP\phi}$, т.к. на результаты измерений конденсационного гигрометра оказывают влияние чувствительность системы измерений и применяемые алгоритмы, что приводит к заниженным результатам [10]. В соответствии с действующим ГОСТ различают два метода расчета температуры точки росы по воде и массовой концентрации водяных паров (МКВП) – упрощенный и детальный. Упрощенный метод имеет меньший диапазон применения по давлению газа (от 0,1 до 12,5 МПа) и молярной доли метана (не менее 95 %), и подходит для газовых сетей коммунальной инфраструктуры городов, где как правило используется природный газ среднего и низкого давления с содержанием CH_4 более 95%.

При вычислении $t_{TP\phi}$ природного газа и концентрации водяных паров используются допущения о равновесии газовой и конденсированной фазы, отсутствии влияния давления на объем химически чистой воды. На основе уравнения состояния Патела-Тея [11], с учетом допущений, выражение для расчета массовой концентрации водяных паров в природном газе $\beta_{расч}$, мг/м³ при заданных давлении p , температуре T , универсальной газовой постоянной R , имеет вид

$$\beta_{расч} = 750313 \frac{p_{\phi}^{нас}}{p} \exp \left(p \sum_{k=0}^4 a_k T^k + p^2 \sum_{k=0}^4 b_k T^k + \frac{1000 \sum_{k=0}^4 r_k T^k (p - p_{\phi}^{нас})}{RT} \right), \quad (1)$$

где a_k , b_k , r_k – справочные коэффициенты ГОСТ 34807-2021; $p_{\phi}^{нас}$ – давление насыщения, МПа равновесной с природным газом конденсированной фазы, определяемое по формуле

$$p_{\phi}^{нас} = 10^{-6} \exp \left(54,1945 - \frac{6644,48}{T} - 4,115 \ln(T) - 0,00134848T \right). \quad (2)$$

Для вычисления температуры точки росы природного газа по воде $t_{TP\phi}$ при известном фактически измеренном значении массовой концентрации водяных паров β , мг/м³, используется уравнение $\beta - \beta_{расч} = 0$ и при выполнении условия на шаге итерации $k+1$: $\Delta = |\beta_{расч}^{(k+1)} / \beta - 1| \leq 10^{-3}$, температура, входящая в формулы (1) и (2) равна температуре точки росы. В качестве первого приближения значение $t_{TP\phi 0}$, °С ГОСТ рекомендует выражение

$$t_{TP\phi 0} = \frac{67p - 5320}{\ln \beta - 25,688 + 0,345p} - 273,15. \quad (3)$$

В работе диапазон изменения давлений принимался в интервале от 0,1 до 0,6 МПа в соответствии с действующими требованиями к давлению в газопроводах котельных централизованного и автономного теплоснабжения, жилых, общественных и промышленных зданий [12]. Диапазон возможных изменений концентрации водяных паров в городских газопроводах однозначно определить нельзя, т.к. его значение не нормируется. В ряде действующих (ГОСТ Р 8.668-2009, РД 153-34.1-11.320-00) и отмененных (ГОСТ Р 8.577-2000) нормативных документах указываются разные значения границы разделения понятий «сухой природный газ» и «влажный газ» (37, 40, 150 мг/м³). Диапазон изменения массовой концентрации водяных паров был принят от 5 до 500 мг/м³, ориентируясь на границы справочных данных, приведенных в ГОСТ 34807-2021.

С применением разработанной программы расчета температуры точки росы природного газа по воде и массовой концентрации водяных паров упрощенным методом [13], реализующей нормативную методику с решением уравнения $\beta - \beta_{расч} = 0$ методом дихотомии с нормативной точностью не менее 0,001, были проведены расчеты искомой величины $t_{TP\phi}$ при значении $\beta = 30$ мг/м³ и $0,1 \leq p \leq 0,6$ МПа (рис. 1).

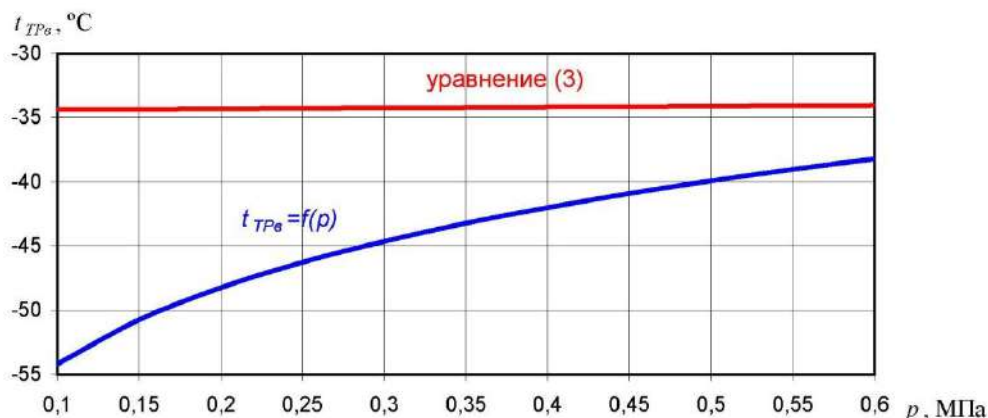


Рис. 1. Результаты расчетов значений $t_{TP\phi}$ при $\beta = 30$ мг/м³

Температура точки росы, рассчитанная по уравнению (3), в диапазоне давлений $0,1 \leq p \leq 0,6$ МПа при $\beta = 30$ мг/м³ имеет значения от $-34,37$ до $-34,03$ °С, т.е. слабо зависит от давления и имеет среднее значение $-34,2$ °С. При увеличении давления представленные функции на рис. 1 приближаются друг к другу, но в диапазоне от 0,1 до 0,6 МПа не пересекаются. Расчеты показали, что пересечение функций произойдет при значении давления 0,9505 МПа, при этом $t_{TP\phi} = -33,78$ °С. Первое приближение в рассматриваемом примере при расчете по рекомендуемой ГОСТ формуле (3) характеризуется значительным отклонением от истинных значений, минимальная разница составляет 4,17 °С при $p=0,6$ МПа а максимальная 19,84 °С при $p=0,1$ МПа. Такая ситуация на практике приводит к необходимости выполнения большого числа итераций до достижения требуемой точности вычислений $\Delta \leq 10^{-3}$. Например, при $\beta = 50$ мг/м³, $p=0,1$ МПа, при использовании метода ГОСТ 34807-2021 (п.7), количество итераций составит 14. Возникает вопрос о целесообразности применения уравнения (3) при расчетах распределительных газовых сетей городов в качестве первого приближения.

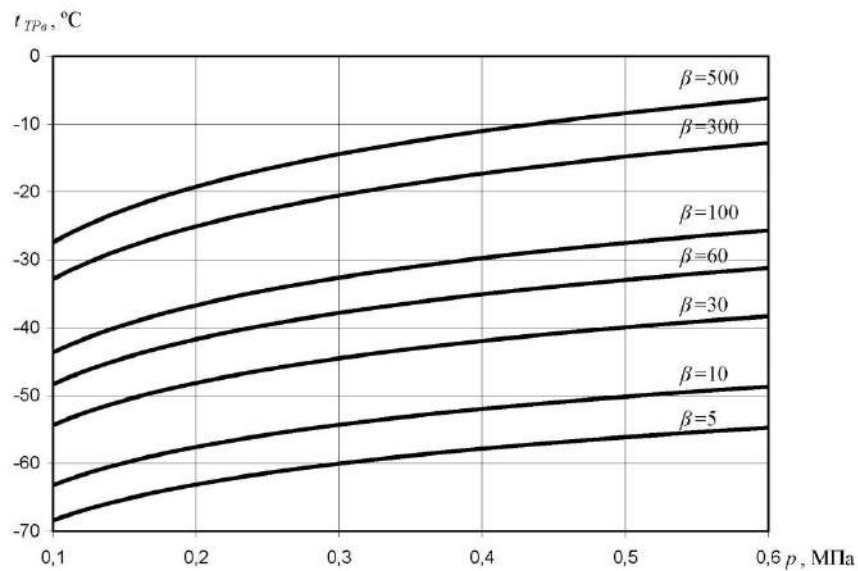
На основе проведенных расчетов получено приближенное уравнение со средним значением относительной ошибки 0,14 % для диапазона $5 \leq \beta \leq 500$ мг/м³, позволяющее рассчитать давление $p_{онм}$, МПа в зависимости от влагосодержания газа β , мг/м³, обеспечивающее наибольшую точность уравнения (3) вида:

$$p_{онм} = 0,04629 \ln \beta + 0,7867. \quad (4)$$

В диапазоне $5 \leq \beta \leq 300$ мг/м³ уравнение (4) позволяет получать результаты со средним значением относительной ошибки 0,018%.

Минимальное значение массовой концентрации водяных паров в природном газе при расчете по приведенной методике в соответствии с ГОСТ составляет 1,5 мг/м³, при этом давление $p_{онм} = 0,7796$ МПа. В итоге можно заключить, что уравнение (3) не позволяет получить наилучшего приближения в интервале давлений от 0,1 до 0,6 МПа, используемых для городских газопроводов.

Были проведены расчеты искомой величины $t_{TP\phi}$ в диапазоне изменений $5 \leq \beta \leq 500$ мг/м³ и $0,1 \leq p \leq 0,6$ МПа (рис. 3).

Рис. 2. Результаты расчетов значений $t_{TP\theta}$

Как следует из результатов расчета и рис. 2, значение температуры точки росы может находиться в интервале от $-68,31$ до $-6,01$ °C в диапазонах изменения давлений от 0,1 до 0,6 МПа и массовой концентрации водяных паров от 5 до 500 мг/м³.

На основе проведенного численного эксперимента и обработки данных были получены уравнения зависимости температуры точки росы по воде $t_{TP\theta}$ как функции давления и массовой концентрации водяных паров, предлагаемые к использованию в качестве первого приближения при реализации вычислительного алгоритма:

$$5 \leq \beta \leq 50 \text{ мг/м}^3, \quad t_{TP\theta} = 6,4863\beta^{0,0956} \ln p + 9,9096 \ln \beta + \sum_{k=0}^3 a_k \beta^k, \quad (5)$$

$$50 < \beta \leq 500 \text{ мг/м}^3, \quad t_{TP\theta} = 6,4863\beta^{0,0956} \ln p + 10,989 \ln \beta + \sum_{k=0}^3 b_k \beta^k, \quad (6)$$

где a_k , b_k – коэффициенты, определяемые в соответствии с табл.

В таблице на ряду с коэффициентами уравнений (5), (6) представлены значения средней абсолютной разницы $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |t_{TP\theta i} - \bar{t}_{TP\theta}|$, максимальное значение абсолютной разницы $|t_{TP\theta i} - \bar{t}_{TP\theta}|_{\max}$, значения $\Delta_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\bar{\beta}_i / \beta_i - 1|$ для рассматриваемых диапазонов изменения значений p и β .

Коэффициенты a_k , b_k уравнений (5),(6) и критерии адекватности

β , мг/м ³	k				$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{TPai} - \bar{t}_{TPai} $	$ t_{TPai} - \bar{t}_{TPai} _{\max}$	$\Delta_{cp} \cdot 10^2$
	0	1	2	3			
a_k							
$5 \leq \beta \leq 15$	-65,429	$-416,566 \cdot 10^{-3}$	0,0287	$-6,8705 \cdot 10^{-4}$	0,064	0,141	0,761
$15 \leq \beta \leq 20$	-66,5567	$-142,377 \cdot 10^{-3}$	$6595,672 \cdot 10^{-6}$	$-97,55 \cdot 10^{-6}$	0,068	0,161	0,771
$20 \leq \beta \leq 50$	-67,6707	$1877,46 \cdot 10^{-6}$	$204,14 \cdot 10^{-6}$	0	0,078	0,211	0,83
b_k							
$50 \leq \beta \leq 100$	-70,66233	$-26,1176 \cdot 10^{-3}$	$324,066 \cdot 10^{-6}$	$-1098,99 \cdot 10^{-9}$	0,091	0,233	0,91
$100 \leq \beta \leq 150$	-71,39215	$-2,316 \cdot 10^{-3}$	$63,4373 \cdot 10^{-6}$	$-142,856 \cdot 10^{-9}$	0,103	0,234	0,98
$150 \leq \beta \leq 500$	-71,96614	$8274,14 \cdot 10^{-6}$	$-3125,86 \cdot 10^{-9}$	0	0,134	0,308	1,15
средние значения по уравнениям (5),(6)					0,09	0,215	0,9
средние значения по уравнению (3)					11,593	27,386	241,4

Расчеты по уравнению (3) (в соответствии с ГОСТ 34807-2021) в рассматриваемых диапазонах $5 \leq \beta \leq 500 \text{ мг/м}^3$ и $0,1 \leq p \leq 0,6 \text{ МПа}$ имеют характеристики:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |t_{TPei} - \bar{t}_{TPei}| = 11,593 \text{ }^{\circ}\text{C}, |t_{TPei} - \bar{t}_{TPei}|_{\max} = 27,386 \text{ }^{\circ}\text{C}, \Delta_{cp} = 2,414,$$

что значительно отличается от результатов, полученных по уравнениям (5), (6), которые точнее на несколько порядков.

Заключение.

Получено уравнение, позволяющее со средним значением относительной ошибки 0,14 % в диапазоне $5 \leq \beta \leq 500 \text{ мг/м}^3$, рассчитать давление $p_{онт}$, МПа в зависимости от влагосодержания газа β , мг/м³, обеспечивающее наибольшую точность рекомендуемого ГОСТ 34807-2021 уравнения для первого приближения в итерационном цикле.

Предложены уравнения зависимости температуры точки росы природного газа по воде для интервала давлений от 0,1 до 0,6 МПа и массовой концентрации водяных паров от 5 до 500 мг/м³, позволяющие при использовании их в качестве первого приближения значительно сократить объем вычислений без использования специализированных программ.

Представленные результаты могут быть использованы в городских газовых службах, а также при разработке программных комплексов для вычислительных блоков анализаторов точки росы и гигрометров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Совершенствование методики определения влагосодержания в промышленных трубопроводах / А. А. Паранук, Р. Б. Кохужева, И. А. Терещенко [и др.] // Экспозиция Нефть Газ. – 2024. – № 6(107). – С. 114-116. – DOI 10.24412/2076-6785-2024-6-114-116.
2. **Куцыгина, О. А.** Трансформация методической базы расчета тарифов как основа устойчивого развития и повышения качества коммунальных услуг / О. А. Куцыгина, Н. А. Анисимова, А. А. Минакова // Цифровая и отраслевая экономика. – 2021. – № 4(25). – С. 28-35.
3. **Лиинтин, И. А.** Модернизация технологического процесса подготовки природного газа / И. А. Лиинтин, В. И. Ерофеев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 6. – С. 126-133. – DOI 10.18799/24131830/2023/6/4100.
4. **Усольцев, М. Е.** Вынос скоплений жидкости из магистральных газопроводов / М. Е. Усольцев, А. А. Коршак // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 12. – С. 322-325.
5. **Паранук, А. А.** Об одной методике определения влагосодержания природного газа в трубопроводных системах / А. А. Паранук, В. И. Дунаев, М. Г. Приходько // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2024. – Т. 10. – № 3(39). – С. 24-36. – DOI 10.21684/2411-7978-2024-10-3-24-36.
6. **Силко, Я. Е.** Методы осушки газа / Я. Е. Силко, И. С. Литвяков // Вестник молодого ученого УГНТУ. – 2025. – № 3(31). – С. 15-28.
7. **Щедрина, Г. Г.** Анализ и перспективы использования методов нормализации параметров природного газа / Г. Г. Щедрина // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 2(42). – С. 48-55.
8. Проблемы предотвращения закупорок в газопроводах и газовом оборудовании / Г. Г. Щедрина, Д. Г. Щедрин, О. А. Амелин, В. А. Стреков // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых- 2019: сборник научных статей 8-й Международной молодежной науч-

ной конференции, Курск, 13...14 ноября 2019 года / Юго-Западный государственный университет. – Том 4. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2019. – С. 306-311.

9. Разработка программы на языке C++ для определения влагосодержания в газопроводах / А. А. Паранук, И. А. Терещенко, М. Г. Приходько [и др.] // Перспективы науки. – 2024. – № 1(172). – С. 108-112.

10. **Винге, М. А.** Государственный первичный эталон единиц относительной влажности газов, молярной (объемной) доли влаги, температуры точки росы/инея, температуры конденсации углеводородов ГЭТ 151-2020 / М. А. Винге, С. А. Морозов // Измерительная техника. – 2022. – № 10. – С. 3-10. – DOI 10.32446/0368-1025it.2022-10-3-10.

11. Navin C. Patel, Amyn S. Teja. A new cubic equation of state for fluids and fluid mixtures. Chemical Engineering Science. Volume 37, Issue 3, 1982, Pages 463-473. doi. 10.1016/0009-2509(82)80099-7.

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

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024664650 Российская Федерация. Программа расчета температуры точки росы природного газа по воде и массовой концентрации водяных паров упрощенным методом: № 2024663711 : заявл. 17.06.2024 : опубл. 21.06.2024 / Д. Н. Китаев, Е. В. Иевлева; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет».

Поступила в редакцию 30 марта 2026

IMPROVEMENT OF THE METHOD FOR CALCULATING THE DEW POINT TEMPERATURE OF NATURAL GAS FROM WATER USING A SIMPLIFIED METHOD

D. N. Kitaev

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

The use of adequate mathematical models that improve the accuracy of natural gas calculations, as well as the efficiency and safety of its use in urban housing and utilities, is consistent with the tasks of digital transformation of the Russian economy. One of the most important characteristics of natural gas, significantly affecting the dew point temperature, is the mass concentration of water vapor, which is constantly monitored in municipal gas supply systems. Increased moisture concentration increases the risk of accidents and reduces the efficiency and reliability of gas supply systems. Dew point temperature values obtained from actual measurements with a condensation hygrometer are always lower than the true thermodynamic temperature and depend on the metrological characteristics of the measuring system and the algorithm of the measuring instrument. Since January 1, 2023, GOST 34807-2021 has been in effect in the Russian Federation. It regulates the methods for calculating the water dew point temperature and the mass concentration of water vapor for natural gas, including for municipal and domestic use. This article presents the results of a study examining the adequacy of the equation recommended by GOST as a first approximation for calculating the dew point temperature using a simplified method within the pressure range of urban gas distribution systems. The resulting equations show greater accuracy when used as a first ap-

proximation in the implementation of the computational algorithm, significantly reducing the number of calculations without the use of specialized software.

Keywords: gas supply; gas pipelines; dew point temperature; calculation method.

REFERENCES

1. **Paranuk A. A., Kokhuzheva R. B., Tereshchenko I. A. [et al.].** *Improving the methodology for determining moisture content in field pipelines.* Oil Gas Expo. 2024. No. 6(107). Pp. 114-116. DOI 10.24412/2076-6785-2024-6-114-116. (in Russian)
2. **Kutsygina O. A., Anisimov N. A., Minakova A. A.** *Transformation of the methodological base for calculating tariffs as a basis for sustainable development and improving the quality of public utilities.* Digital and Industry Economics. 2021. No. 4(25). Pp. 28-35. (in Russian)
3. **Liintin I. A., Erofeev V. I.** *Modernization of the technological process of natural gas preparation.* Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Engineering of Georesources. 2023. Vol. 334. No. 6. Pp. 126-133. DOI 10.18799/24131830/2023/6/4100. (in Russian)
4. **Usoltsev M. E., Korshak A. A.** *Removal of liquid accumulations from main gas pipelines.* Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2011. No. 12. Pp. 322-325. (in Russian)
5. **Paranuk A. A., Dunaev V. I., Prikhodko M. G.** *On one technique for determining the moisture content of natural gas in pipeline systems.* Bulletin of Tyumen State University. Physical and mathematical modeling. Oil, gas, energy. 2024. Vol. 10. No. 3(39). Pp. 24-36. DOI 10.21684/2411-7978-2024-10-3-24-36. (in Russian)
6. **Silko Ya. E., Litvyakov I. S.** *Gas drying methods.* Bulletin of the young scientist of USPTU. 2025. No. 3(31). Pp. 15-28. (in Russian)
7. **Shchedrina G. G.** *Analysis and prospects of using methods for normalizing natural gas parameters.* Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2016. No. 2(42). Pp. 48-55. (in Russian)
8. **Shchedrina G. G., Shchedrin D. G., Amelin O. A., Strekov V. A.** *Problems of preventing blockages in gas pipelines and gas equipment.* Generation of the Future: A View of Young Scientists-2019: Collection of Scientific Articles from the 8th International Youth Scientific Conference, Kursk, November 13-14, 2019. Southwestern State University. Volume 4. Kursk, University Book. 2019. P. 306-311. (in Russian)
9. **Paranuk A. A., Tereshchenko I. A., Prikhodko M. G. [et al.].** *Development of a C++ program for determining the moisture content in gas pipelines.* Prospects of Science. 2024. No. 1 (172). Pp. 108-112. (in Russian)
10. **Vinge M. A., Morozov S. A.** *State primary standard of units of relative humidity of gases, molar (volume) fraction of moisture, dew/frost point temperature, hydrocarbon condensation temperature GET 151-2020.* Measuring Equipment. 2022. No. 10. Pp. 3-10. DOI 10.32446/0368-1025it.2022-10-3-10. (in Russian)
11. **Navin C. Patel, Aryn S. Teja.** *A new cubic equation of state for fluids and fluid mixtures.* Chemical Engineering Science. Volume 37. Issue 3. 1982. Pp. 463-473. DOI. 10.1016/0009-2509(82)80099-7.
12. **Kitaev D. N., Kutsygina O. A.** *Calculation of the compressibility coefficient of natural gas in municipal gas supply systems.* Housing and communal infrastructure. 2024. No. 4(31). P. 35-42. DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.004. (in Russian)
13. Certificate of state registration of computer program No. 2024664650 Russian Federation. Program for calculating the dew point temperature of natural gas for water and the mass concentration of water vapor using a simplified method: No. 2024663711: declared. 17.06.2024: published. 21.06.2024 / D. N. Kitaev, E. V. Ievleva; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Voronezh State Technical University. (in Russian)

Received 30 March 2026

Для цитирования:

Китаев, Д. Н. Совершенствование методики расчета температуры точки росы природного газа по воде упрощенным методом / Д. Н. Китаев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 2(37). – С. 44-51. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.005.

For citation:

Kitaev D. N. *Improvement of the method for calculating the dew point temperature of natural gas from water using a simplified method.* Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 2(37). Pp. 44-51. DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.005. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.006

УДК 66.045.129.9

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФЕН-ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН И МЕМБРАН ИЗ ОКСИДА ГРАФЕНА В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ

А. Р. Гатауллина, В. А. Вахрушев, Ю. М. Хабиров

Гатауллина Алина Рудольфовна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Российская Федерация, тел.: +7(347)242-03-70; e-mail: alinagataullina@mail.ru

Вахрушев Владислав Андреевич, магистрант кафедры «Водоснабжение и водоотведение» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Российская Федерация, тел.: +7(347)242-03-70; e-mail: ov-vahrushevvlad@yandex.ru

Хабиров Юлай Марсович, аспирант кафедры «Водоснабжение и водоотведение» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Российская Федерация, тел.: +7(347)242-03-70; e-mail: yulahab@yandex.ru

Современные требования к энергоэффективности зданий стимулируют поиск новых материалов для систем вентиляции, способных обеспечить глубокую утилизацию теплоты и влаги. Цель работы – анализ потенциала и определение перспективных направлений применения графен-полимерных композитов и мембран на основе оксида графена (ОГ) в энтальпийных рекуператорах. В статье систематизированы синергетические эффекты от применения интеркалированных структур и фотокаталитических покрытий, а также выполнен оценочный расчет эффективности рекуператора с мембраной на основе оксида графена для климатических условий, характерных для холодного периода года. Показано, что применение рассматриваемых материалов позволяет повысить коэффициент полезного действия рекуператоров до 90...95 %, расширить рабочий диапазон температур (до -40°C и ниже) и обеспечить стабильность транспортных свойств за счет интеркаляции и фотокаталитической самоочистки. Обоснованы технологические ограничения, требующие дальнейших исследований.

Ключевые слова: оксид графена; графен-полимерная мембрана; энтальпийный рекуператор; наноканалы; теплообмен; фотокатализ TiO_2 ; интеркаляция.

Снижение энергопотребления зданий при обеспечении высокого качества воздушной среды является одной из ключевых задач строительной отрасли [1]. Традиционные системы вентиляции приводят к значительным потерям тепла в холодный период года и перегрузкам систем кондиционирования в летний период, увеличивая эксплуатационные затраты. По данным Министерства энергетики РФ, доля вентиляции в структуре теплопотребления зданий достигает 30...40 %, что делает утилизацию тепла вытяжного воздуха одним из наиболее эффективных направлений энергосбережения.

Эффективным решением служит применение рекуператоров, позволяющих утилизировать тепло и влагу вытяжного воздуха. Наибольшими функциональными возможностями обладают энтальпийные (мембранные) теплообменники, обеспечивающие перенос как явного, так и скрытого тепла за счет избирательной проницаемости мембраны по водяному пару [1, 2]. В отличие от пластинчатых и роторных рекуператоров, мембранные устройства исключают смешение потоков воздуха, что критически важно для соблюдения санитарно-гигиенических норм.

Эффективность мембранных теплообменников лимитируется свойствами существующих полимерных материалов (целлюлоза, Nafion), которые характеризуются компромиссом между паропроницаемостью, селективностью и механической стабильностью. Целлюлозные мембраны, несмотря на гидрофильность, обладают ограниченной паро-

проницаемостью и подвержены деградации под действием микроорганизмов. Мембраны на основе перфторированных сульфокатионитов (Nafion) демонстрируют высокую селективность, но их стоимость остается высокой, а температурная стабильность ограничена.

Появление двумерных материалов – графена и оксида графена – открывает возможность создания мембран с качественно новыми характеристиками [1, 3]. Графен, представляющий собой одноатомный слой углерода с sp^2 -гибридизацией, обладает уникальным сочетанием высокой теплопроводности, механической прочности и химической стойкости. Оксид графена, содержащий кислородсодержащие функциональные группы, сочетает гидрофильность с возможностью формирования наноканалов селективного транспорта.

В условиях растущих требований к энергоэффективности зданий, системы приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией тепла стали неотъемлемым элементом современного строительства. Энтальпийные (или мембранные) рекуператоры занимают особое место среди устройств для утилизации тепла, поскольку они способны возвращать не только явное тепло, но и влагу, тем самым снижая нагрузку на системы кондиционирования летом и предотвращая чрезмерное осушение воздуха зимой [4]. Появление новых углеродных наноматериалов, в частности графена и его производных, открывает беспрецедентные возможности для создания мембран следующего поколения [3].

В настоящей работе проведен систематический анализ синергетических эффектов от применения гибридных графен-содержащих структур (интеркалированных мембран и фотокаталитических покрытий) для преодоления ограничений традиционных мембран в задачах сопряженного тепломассопереноса. Для количественной оценки эффективности выполнен оценочный расчет рекуператора с мембраной из оксида графена для климатических условий холодного периода года.

Целью статьи является оценка потенциала повышения энергоэффективности и эксплуатационной надежности систем вентиляции при интеграции мембран на основе графена и его производных.

Исследование выполнено с использованием методов аналитического обзора и систематизации научно-технической литературы, патентной документации за период 2016–2024 гг. Поиск осуществлялся в базах данных Scopus, Web of Science, ELibrary, а также в патентных базах Роспатента и Европейского патентного ведомства. Ключевыми поисковыми запросами являлись: «graphene oxide membrane», «graphene-polymer composite», «enthalpy recuperator», «heat and mass transfer», «intercalation», «TiO₂ photocatalysis».

Для сравнительного анализа транспортных свойств мембранных материалов использованы данные из рецензируемых журналов и патентов, содержащие количественные результаты экспериментальных исследований. Отбор источников производился по критерию наличия экспериментально подтвержденных значений паропроницаемости, селективности и стабильности.

Для оценки энергетической эффективности применен аналитический расчет теплового баланса рекуператора с использованием мембраны на основе оксида графена. Расчет выполнен для типовых параметров наружного воздуха в холодный период года, характерных для центральной части Российской Федерации, с использованием стандартных теплофизических зависимостей. В расчете приняты допущения: стационарный режим теплообмена, отсутствие фазовых переходов в пористой структуре мембраны, идеальное смешение потоков на входе в каналы.

Графен – одноатомный слой углерода с sp^2 -гибридизацией, обладающий уникальным набором свойств, определяющих его перспективность для создания высокоэффективных мембран. Теоретическая удельная поверхность графена достигает 2630 м²/г, что обеспечивает высокую сорбционную емкость по парам воды. Теплопроводность однослойного графена может достигать 5000 Вт/(м·К), что на порядки превышает теплопроводность традиционных полимеров.

Оксид графена, получаемый химическим окислением графита, содержит кислород-содержащие функциональные группы (гидроксильные, карбоксильные, эпоксидные), что придает ему гидрофильность и высокую адсорбционную способность [2, 3]. Межслоевое расстояние в структуре ОГ составляет 0,3...1,0 нм в зависимости от степени гидратации, что соответствует размеру молекул воды (кинетический диаметр 0,26 нм) и значительно меньше размера молекул азота (0,36 нм) и кислорода (0,34 нм). Это создает предпосылки для высокоселективного транспорта водяного пара.

В табл. 1 систематизированы ключевые свойства графеновых материалов, определяющие их инженерную значимость для применения в энтальпийных рекуператорах.

Таблица 1

Сравнительный анализ свойств графеновых материалов для задач
тепломассообмена

Параметр	Характеристика графена/ОГ	Инженерная значимость для рекуператора
Геометрические параметры	Толщина ~1 нм; удельная поверхность до 2630 м ² /г [5]	Минимизация диффузионного сопротивления; высокая сорбционная емкость по парам воды
Теплофизические параметры	Теплопроводность до 5000 Вт/(м·К) (для графена) [3]	Обеспечение температурной однородности мембраны, интенсификация теплообмена, снижение риска конденсации
Проницаемость	Размер наноканалов ОГ ~0,3...1 нм	Молекулярное сито: высокая проницаемость для Н ₂ O (0,26 нм) при блокировании N ₂ /O ₂ [2, 5]
Механические параметры	Высокая прочность и термостойкость (до 300 °С) [5]	Долговечность в условиях переменных температур и агрессивных сред

Представленные данные показывают, что графен и оксид графена обладают принципиально иным сочетанием свойств по сравнению с традиционными мембранными материалами. Особую ценность представляет возможность формирования ультратонких селективных слоев (единицы-десятки нанометров), что позволяет существенно снизить диффузионное сопротивление при сохранении высокой селективности.

Несмотря на высокую селективность, мембраны из «чистого» ОГ подвержены сжатию межслоевого пространства под действием перепада давления, что ведет к деградации транспортных характеристик [6]. Под действием перепада давления до 1 атм межслоевое расстояние может уменьшаться на 20...30 %, что приводит к необратимому снижению паропроницаемости.

Перспективным решением является интеркаляция - внедрение наноструктурных «распорок» (гидроксированных фуллеренов или нанолент ОГ) между листами ОГ. Это позволяет создать жесткий каркас, сохраняющий проницаемость на уровне 85...90 % при значительных перепадах давления [1, 2]. Фуллеренолы C₆₀(ОН)₂₄, введенные в межслоевое пространство, выполняют функцию наноразмерных опор, предотвращающих схлопывание каналов. Согласно экспериментальным данным, после интеркаляции потеря паропроницаемости при перепаде давления 3 атм не превышает 12 %, тогда как для неинтеркалированных мембран аналогичные потери составляют 35...40 % [6].

Интеркаляция наноструктур (фуллеренолов, нанолент оксида графена) является необходимым условием промышленной реализации, обеспечивая сохранение проницаемости на уровне 85...90 % при рабочих перепадах давления, тогда как без интеркаляции деградация транспортных свойств под действием перепада давления может достигать 35...40 % [6]. Гибридные покрытия TiO₂-графен обеспечивают фотокаталитическую самоочистку поверхности, что позволяет сохранять стабильность аэродинамического сопро-

тивления и паропроницаемости в течение длительного срока эксплуатации, а также повышает санитарно-гигиенические показатели приточного воздуха.

В отличие от традиционных целлюлозных мембран, работающих по механизму растворения – диффузии, в мембранах из ОГ доминирует капиллярная конденсация и поверхностная диффузия. Молекулы воды адсорбируются на гидрофильных функциональных группах и транспортируются по межслоевым каналам в жидкоподобном состоянии. В графен-полимерных композитах наночастицы графена формируют разветвленную транспортную сеть, обеспечивая «обходную» диффузию молекул воды [3, 7].

Анализ литературных и патентных данных позволяет количественно охарактеризовать преимущества новых материалов. В табл. 2 приведены сравнительные характеристики мембран различных типов.

Таблица 2

Наименование параметра	Сравнительная эффективность мембран		
	Характеристика параметра для различных материалов мембран		
	Традиционные (целлюлоза)	Мембраны из ОГ (интеркалir.)	Графен-полимерные композиты
Доминирующий механизм переноса	Растворение-диффузия	Капиллярная конденсация	Обходная диффузия по графену
Относительная паропроницаемость	1 (базовый уровень)	В 3...10 раз выше [6]	До 2 раз выше [3]
Селективность H ₂ O/воздух	200–3000 [5]	>10000 [6]	До 22000 [6]
Стабильность при перепадах давления (необратимые потери проницаемости)	Средняя	Повышенная	Высокая (<10...15 %/атм)
Температурная стабильность	Ограничена типом полимера	Высокая (за счет графена)	Очень высокая (до 300 °С на воздухе)
Толщина селективного слоя, нм	$(1...50) \times 10^3$	20...200	<100 (до 20...200)

Данные табл. 2 показывают, что введение графеновых структур позволяет на порядки повысить коэффициент диффузии водяного пара и селективность вода/воздух по сравнению с традиционными целлюлозными мембранами. Особо следует отметить, что для графен-полимерных композитов зафиксирован рост транспортных характеристик до 175 % по сравнению с чистой полимерной матрицей [3], что объясняется формированием дополнительных путей переноса на границе раздела полимер-наночастица.

Сочетание высокой тепло- и массопроводности графеновых структур позволяет приблизить КПД утилизации к 95 % при значительных разностях температур между потоками. Формирование ультратонкого селективного слоя из оксида графена (толщиной до 20 нм) на высокопористой подложке открывает возможность создания теплообменных аппаратов с удельной производительностью до 270 000 нм³/(м³·ч·атм) [5], что на порядки превышает характеристики традиционных пластинчатых рекуператоров (для сравнения, типичная удельная производительность пластинчатых рекуператоров составляет 5000...15000 нм³/(м³·ч·атм)). Такое повышение позволяет радикально снизить массогабаритные показатели вентиляционных установок без потери производительности.

Высокая теплопроводность графена способствует быстрому прогреву приточной зоны, отодвигая порог обмерзания. Если традиционные системы на основе целлюлозных мембран требуют байпасных линий или предварительного подогрева воздуха уже при –35 °С [1], то графен-содержащие мембраны сохраняют эластичность и стабильность

транспортных каналов вплоть до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже. Это исключает риск «схлопывания» пор при замерзании остаточной влаги, обеспечивая надежную работу в условиях сурового климата.

В противоположном климатическом сценарии – при высоких температурах и повышенной влажности наружного воздуха – графеновые мембраны также демонстрируют преимущество. Высокая диффузионная способность мембран из оксида графена обеспечивает эффективный отвод избыточной влаги из приточного (наружного) воздуха в вытяжной (внутренний) поток. За счет этого снижается влажностная нагрузка на системы кондиционирования, и создаются предпосылки для более точного и энергоэффективного поддержания заданного влажностного режима в обслуживаемых помещениях.

Интеграция гибридных структур TiO_2 -графен обеспечивает самоочистку поверхности мембраны. TiO_2 , легированный наночастицами благородных металлов (например, Ag), под воздействием УФ-излучения генерирует активные формы кислорода, которые разрушают органические соединения и обладают бактерицидным действием [8]. Оксид графена выступает подложкой для наночастиц TiO_2 , обеспечивая их равномерное распределение, а высокая электропроводность графена способствует разделению фотогенерированных зарядов, повышая квантовую эффективность образования активных форм кислорода [9, 10]. Механизм самоочистки основан на генерации гидроксильных радикалов ($\cdot\text{OH}$) и супероксид-анионов (O_2^-) при облучении ультрафиолетом, которые способны окислять любые органические соединения до углекислого газа и воды.

На начальном этапе нанесение фотокаталитического слоя может незначительно снизить паропроницаемость (на $5\ldots 10\%$), однако в долгосрочной перспективе предотвращение биообрастания и разложение органических отложений обеспечивают стабильность характеристик. После 1000 часов эксплуатации в условиях городской атмосферы паропроницаемость гибридных мембран сохраняется на уровне 95% от исходной, тогда как для необработанных мембран падение составляет $25\ldots 30\%$ [9].

Для количественной оценки эффективности применения мембраны из оксида графена выполнен тепловой расчет для условий холодного периода года. Расчет выполнен на основе аналитических зависимостей тепломассопереноса с допущением о стационарности режима и отсутствии фазовых переходов в пористой структуре мембраны.

Исходные данные: расход воздуха: $G = 1000\text{ м}^3/\text{ч} = 0,278\text{ м}^3/\text{с}$; эффективность рекуператора по явному теплу: $\varepsilon = 0,75$ (принята на основании данных для мембран из ОГ с интеркаляцией [1, 2]).

Параметры наружного воздуха (холодный период): температура: $t_n = -31\text{ }^{\circ}\text{C}$; влажность: $\varphi_n = 90\%$; влагосодержание: $d_n \approx 0,2\ldots 0,3\text{ г/кг}$; энтальпия: $i_n \approx -30\text{ кДж/кг}$.

Параметры внутреннего воздуха: температура: $t_v = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$; влажность: $\varphi_v = 40\%$; влагосодержание: $d_v \approx 5,8\ldots 6,0\text{ г/кг}$; энтальпия: $i_v \approx 35\text{ кДж/кг}$.

Температура приточного воздуха $t_{пр}$ определяется по формуле эффективности теплообмена:

$$t_{пр} = t_n + \varepsilon \cdot (t_v - t_n).$$

Приточный воздух нагревается с $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+7,25\text{ }^{\circ}\text{C}$, что существенно снижает нагрузку на систему отопления.

Тепловая мощность, возвращаемая в помещение, составляет около $12,8\text{ кВт}$. Для сравнения, при отсутствии рекуперации нагрев наружного воздуха до температуры притока $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ потребовал бы $17,1\text{ кВт}$.

Экономия тепловой энергии составляет $12,8\text{ кВт}$ ($\approx 75\%$).

Полученные результаты показывают, что даже без учета передачи скрытой теплоты эффективность рекуператора достигает 75% , при этом риск обмерзания зоны контакта с холодным приточным воздухом снижен благодаря высокой теплопроводности мембраны. При учете влажностного переноса суммарная эффективность утилизации может достигать $85\ldots 90\%$ [1, 2, 11].

Наряду с высокими техническими показателями, применение графен-содержащих мембран сопряжено с рядом ограничений, требующих дальнейших исследований:

✓ *Технологическая сложность масштабирования.* Методы получения крупноформатных мембран с равномерным распределением наноллистов ОГ и воспроизводимыми транспортными характеристиками находятся на стадии лабораторных разработок. Основные проблемы связаны с агрегацией наноллистов при формировании пленок большой площади и обеспечением однородной интеркаляции.

✓ *Высокая стоимость.* Стоимость синтеза качественного оксида графена (метод Хаммерса, модифицированный метод Хаммерса) составляет от 500 до 2000 USD за килограмм в зависимости от степени очистки и дефектности. Формирование композиционных мембран с интеркалированными структурами дополнительно увеличивает стоимость на 30–50 % по сравнению с чистыми ОГ-мембранами.

✓ *Долговременная стабильность.* Отсутствуют систематические данные о поведении интеркалированных структур и фотокаталитических покрытий в реальных условиях эксплуатации в течение 5...10 лет. Особую неопределенность представляет устойчивость интеркалирующих агентов (фуллеренолов) к вымыванию при длительном контакте с конденсатом.

✓ *Методики испытаний.* Требуется разработка унифицированных методик оценки эффективности мембран в составе энтальпийных рекуператоров, учитывающих совместный перенос тепла и влаги. Действующие стандарты (например, ГОСТ Р 54860-2011) не учитывают специфику графен-содержащих мембран и не регламентируют методы определения селективности при отрицательных температурах.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на отработку технологий масштабирования (в том числе с использованием рулонных методов нанесения), снижение себестоимости за счет использования менее дефицитных исходных материалов (например, графита технических марок), проведение длительных эксплуатационных испытаний (не менее 5000 часов) и разработку нормативно-технической документации.

Заключение.

Проведенный системный анализ научно-технической и патентной литературы позволяет утверждать, что графен-полимерные мембраны и мембраны из оксида графена обеспечивают качественное повышение транспортных характеристик по сравнению с традиционными материалами. Показано, что относительная паропроницаемость возрастает в 3–10 раз, селективность вода/воздух достигает значений более 20000, а теплопроводность мембраны приближается к показателям металлических проводников.

Выполненный оценочный расчет для условий холодного периода показал, что применение мембраны из оксида графена в энтальпийном рекуператоре позволяет достичь эффективности 75 % по явному теплу без учета влажностного переноса, что дает экономию тепловой энергии около 25 % по сравнению со схемой без рекуперации. Основными ограничениями для широкого внедрения являются технологическая сложность масштабирования, высокая стоимость и недостаточная изученность долговременной стабильности.

С учетом проведенных исследований определены основные прикладные задачи, направленные на внедрение исследуемых материалов: отработка технологий производства крупноформатных мембран с использованием рулонных методов нанесения, снижение себестоимости за счет оптимизации состава композитов и использовании альтернативных интеркалирующих агентов, а также проведение длительных натурных испытаний в составе приточно-вытяжных вентиляционных установок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Липатов, А. В.** Утилизация тепла в системах вентиляции / А. В. Липатов, Е. В. Спиридонова, А. Ф. Фролов // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов : Саратовский ГАУ, 2016. – С. 184-188.
2. **Аксенов, А. К.** Описание процессов в энтальпийных мембранных теплообменниках систем вентиляции на основе законов тепломассопереноса / А. К. Аксенов, М. С. Самоделова // Вестник МГСУ. – 2024. – Т. 19, № 1. – С. 45-54.
3. **Дмитриев, А. С.** Перспективы использования двумерных наноматериалов в энергетических технологиях (обзор) / А. С. Дмитриев, А. В. Клименко // Теплоэнергетика. – 2023. – № 8. – С. 3-22.
4. **Попова, М. Е.** Утилизация теплоты вытяжного воздуха как перспективный способ энергосбережения / М. Е. Попова, Е. Н. Грздинарь // Молодежь и системная модернизация страны. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – Т. 5. – С. 214-216.
5. Композиционная мембрана для осушения газовых смесей с селективным слоем на основе оксида графена, содержащим наноленты оксида графена между нанолитами оксида графена / Е. А. Чернова, О. О. Капитанова, А.В. Кирьянова, и др. // Патент РФ № 198975 U1. – 2020.
6. Композиционная мембрана для осушения природных и технологических газовых смесей на основе оксида графена интеркалированного гидроксильными производными фуллеренов / В. А. Броцман, Е. А. Чернова, Д. И. Петухов, и др. // Патент РФ № 2730320 C1. – 2020.
7. **Гатауллина, А. Р.** Возможности регулирования паропроницаемости графеновых мембран для повышения энергоэффективности климатических систем / А. Р. Гатауллина, Р. У. Багишева, В. А. Вахрушев // Инженерные системы: вчера, сегодня, завтра: материалы I Междунар. науч.-техн. конф. Уфа, 2025. – С. 56-58.
8. **Егорова, М. Н.** Антимикробная активность оксида графена / М. Н. Егорова, и др. // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Серия: Медицинские науки. – 2019. – № 3(16). – С. 11-16.
9. Нанотехнологии в строительстве: новые технические результаты (Часть V) / Л. А. Иванов, Л. Д. Сюй, Е. С. Бокова и др. // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Т. 12. – № 6. – С. 331-338.
10. **Иванов, В. В.** Способ изготовления объемных микроразмерных структур из наночастиц / В. В. Иванов, и др. // Патент RU 2730008 C1, МПК B22F 9/00. – опубл. 14.08.2020.
11. **Гатауллина, А. Р.** Повышение энергоэффективности системы газоснабжения за счет утилизации вторичных энергетических ресурсов: дисс. ... канд. техн. наук. / Алина Рудольфовна Гатауллина. – Уфа: УГНТУ, 2016. – 157 с.

Поступила в редакцию 31 марта 2026

**PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF GRAPHENE POLYMER
MEMBRANES AND GRAPHENE OXIDE MEMBRANES
IN VENTILATION SYSTEMS**

A. R. Gataullina, V. A. Vakhrushev, Y. M. Khabirov

Alina R. Gataullina, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Water Supply and Sanitation, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, tel.: +7(347)242-03-70; e-mail: alinagataullina@mail.ru

Vladislav Andreevich Vakhrushev, Master's Student of the Department of Water Supply and Sanitation, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, tel.: +7(347)242-03-70; e-mail: ov-vakhrushevvlad@yandex.ru
Yulai Marsovich Khabirov, Postgraduate Student of the Department of Water Supply and Sanitation, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, tel.: +7(347)242-03-70; e-mail: yulahab@yandex.ru

Modern requirements for building energy efficiency stimulate the search for new materials for ventilation systems capable of ensuring deep heat and moisture recovery. The aim of this work is to analyze the potential and identify promising directions for the application of graphene polymer composites and graphene oxide (GO) membranes in enthalpy recuperators. The article systematizes the synergistic effects resulting from the use of intercalated structures and photocatalytic coatings, and presents an estimated calculation of the efficiency of a recuperator with a GO-based membrane for climatic conditions typical of the cold season. We show that the application of these materials makes it possible to increase the efficiency of recuperators up to 90...95 %, expand the operating temperature range (down to -40°C and below), and ensure the stability of transport properties through intercalation and photocatalytic self-cleaning. We as well substantiated technological limitations requiring further research in the sphere.

Keywords: graphene oxide; graphene polymer membrane; enthalpy recuperator; nanochannels; heat and mass transfer; TiO_2 photocatalysis; intercalation.

REFERENCES

1. **Lipatov A. V., Spiridonova E. V., Frolov A. F.** *Heat recovery in ventilation systems.* Innovations in environmental engineering and emergency protection: proceedings of the V International Scientific and Practical Conference. Saratov, Saratov State Agrarian University. 2016. Pp. 184-188. (in Russian)
2. **Aksenov A. K., Samodelova M. S.** *Description of processes in enthalpy membrane heat exchangers of ventilation systems based on heat and mass transfer laws.* Bulletin of MGSU (Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering). 2024. Vol. 19. No. 1. Pp. 45-54. (in Russian)
3. **Dmitriev A. S., Klimenko A. V.** *Prospects for the use of two-dimensional nanomaterials in energy technologies (review).* Teploenergetika (Thermal Engineering). 2023. No. 8. Pp. 3-22. (in Russian)
4. **Popova M. E., Grzdinar E. N.** *Exhaust air heat recovery as a promising energy-saving method.* Youth and systemic modernization of the country. Kursk, Southwest State University. 2022. Vol. 5. Pp. 214-216. (in Russian)
5. **Chernova E. A., Kapitanova O. O., Kiryanova A. V. et al.** *Composite membrane for dehumidification of gas mixtures with a selective layer based on graphene oxide containing graphene oxide nanoribbons between graphene oxide nanosheets.* RF Patent No. 198975 U1. 2020. (in Russian)
6. **Brotsman V. A., Chernova E. A., Petukhov D. I. et al.** *Composite membrane for dehumidification of natural and technological gas mixtures based on graphene oxide intercalated with hydroxylated fullerene derivatives.* RF Patent No. 2730320 C1. 2020. (in Russian)
7. **Gataullina A. R., Bagisheva R. U., Vakhrushev V. A.** *Possibilities of controlling the water vapor permeability of graphene membranes to improve the energy efficiency of climate systems.* Engineering systems: yesterday, today, tomorrow: proceedings of the I International Scientific and Technical Conference. Ufa. 2025. Pp. 56-58. (in Russian)
8. **Egorova M. N. et al.** *Antimicrobial activity of graphene oxide.* Bulletin of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov. Series: Medical Sciences. 2019. No. 3(16). Pp. 11-16. (in Russian)

9. **Ivanov L. A., Xu L. D., Bokova E. S. et al.** *Nanotechnologies in construction: new technical results (Part V)*. Nanotechnologies in Construction. 2020. Vol. 12. No. 6. Pp. 331-338. (in Russian)

10. **Ivanov V. V.** *Method for manufacturing bulk micro-sized structures from nanoparticles*. Patent RU 2730008 C1, IPC B22F 9/00. publ. 14.08.2020. (in Russian)

11. **Gataullina A. R.** *Improving the energy efficiency of gas supply systems through the recovery of secondary energy resources*: Ufa, USPTU. 2016. 157 p. (in Russian)

Received 31 March 2026

Для цитирования:

Гатауллина, А. Р. Перспективы применения графен-полимерных мембран и мембран из оксида графена в системах вентиляции / А. Р. Гатауллина, В. А. Вахрушев, Ю. М. Хабиров // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 2(37). – С. 52-60. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.006.

For citation:

Gataullina A. R., Vakhrushev V. A., Khabirov Y. M. *Prospects for the application of graphene polymer membranes and graphene oxide membranes in ventilation systems*. Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 2(37). Pp. 52-60. DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.006. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.007

УДК 621.643.414:620.197.7

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ И КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЖИЛЫХ ДОМАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГЕРМЕТИКОВ

Е. С. Аралов, Н. Я. Марчуков, А. С. Салиева, М. Р. Стреляева

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

Марчуков Никита Ярославович, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-53-21; e-mail: marchukovnikita7@gmail.com

Салиева Анастасия Сергеевна, ассистент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-53-21; e-mail: avoloh@cchgeu.ru

Стреляева Мария Романовна, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-53-21; e-mail: mstrelyaeva@cchgeu.ru

Рассматривается проблема обеспечения надёжности резьбовых соединений внутридомового газового оборудования, на долю которых приходится до 70% всех утечек газа в жилых зданиях. Выявлены основные дестабилизирующие факторы: механические нагрузки, температурные перепады, коррозионные процессы и химическое воздействие одорантов. Обоснована неэффективность традиционных уплотнительных материалов в условиях комплексного воздействия указанных факторов. В качестве перспективного решения предложено применение наномодифицированных акрилатных герметиков с добавлением функционализированных многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ). На основе теоретического анализа и математического моделирования определён оптимальный диапазон концентраций МУНТ (0,03...0,1 % масс.) с наиболее вероятным значением 0,05 % масс., обеспечивающий максимальное улучшение эксплуатационных характеристик. Установлены механизмы повышения барьерных свойств нанокомпозитов: лабиринтный эффект, снижение сегментальной подвижности полимерных цепей, формирование межфазных слоёв и перколяционных структур. Приведен прогноз снижения скорости потери давления в 2...4 раза, повышение коррозионной стойкости в 3...5 раз и увеличение срока службы соединений с 10...15 до 20...25 лет. Обоснована экономическая целесообразность применения наномодифицированных герметиков.

Ключевые слова: газоснабжение жилых зданий, резьбовые соединения, герметики, наноматериалы, углеродные нанотрубки, коррозионная стойкость, внутридомовое газовое оборудование.

Обеспечение надёжного и безопасного газоснабжения населения является одной из приоритетных задач жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. В настоящее время более 70% жилого фонда страны оснащено газовыми плитами, водонагревателями и отопительными котлами, что формирует обширную сеть внутридомового газового оборудования. Статистика аварийности последних лет свидетельствует о том, что, несмотря на общее снижение количества инцидентов, тяжесть последствий бытовых взрывов остаётся высокой. Согласно данным Ростехнадзора, основной причиной утечек газа в жилых домах является разгерметизация резьбовых соединений – узлов подключения газовых приборов, кранов, счётчиков и сгонов трубопроводов.

Традиционные методы уплотнения резьбы, такие как льняная пряжа, ФУМ-лента или

анаэробные гели, обладают рядом эксплуатационных недостатков. Органические материалы подвержены старению, пересыханию и растрескиванию под воздействием перепадов температур, вибраций и кислорода воздуха. Кроме того, зона резьбового соединения является очагом интенсивной электрохимической коррозии из-за образования щелевого зазора, где скапливается влага. Это приводит к снижению несущей способности трубопровода и преждевременному выходу оборудования из строя.

В связи с этим возникает объективная потребность в разработке новых материалов для уплотнения резьбы, которые сочетали бы в себе высокую адгезию, эластичность, химическую стойкость и, что особенно важно, способность пассивировать коррозионные процессы. Перспективным направлением в этой области является использование наноматериалов. Введение в состав полимерных герметиков наноразмерных модификаторов позволяет целенаправленно изменять их физико-механические и барьерные свойства на молекулярном уровне.

Исследованиям в области создания полимерных композитов с нанонаполнителями посвящены труды многих отечественных и зарубежных учёных. Доказано, что добавление даже малых концентраций углеродных нанотрубок в полимерную матрицу позволяет повысить прочность, модуль упругости и термостойкость материала [1...4].

В области газовой промышленности и ЖКХ работы по применению наноматериалов ведутся в основном в направлении создания высокочувствительных сенсоров для обнаружения утечек и модификации труб больших диаметров. Вопросы же применения наномодифицированных герметиков для защиты резьбовых соединений внутридомового газового оборудования изучены недостаточно. В частности, отсутствуют системные данные о влиянии нанодобавок на коррозионную стойкость зоны контакта «металл-полимер» в условиях, характерных для жилых зданий. Это определяет направление данного исследования.

На основе анализа данных эксплуатационных организаций можно выделить следующие типовые отказы резьбовых соединений (рис. 1) (ОАО «Газпром») [5].



Рис. 1. Типовые отказы резьбовых соединений¹

Проведённый анализ позволяет сделать выводы о том, что резьбовые соединения газопроводов жилых домов работают в сложном комплексе условий, которые негативным образом влияют на долговечность их работы, а традиционные уплотнительные материалы

¹ диаграмма построена по данным Ростехнадзора «Сведения об аварийности и травматизме на объектах газораспределения и газопотребления за 2020...2023 гг.»

не в полной мере обеспечивают защиту от указанных факторов, особенно в части коррозионного воздействия и поэтому, перспективным направлением повышения надёжности резьбовых соединений является создание уплотнителей, сочетающих герметизирующие свойства с функциями ингибитора коррозии и армирующего элемента, этого можно достичь путём введения в состав полимерной матрицы наноразмерных модификаторов.

Для создания герметизирующего материала, предназначенного для резьбовых соединений газопроводов жилых зданий, необходимо учитывать комплекс эксплуатационных требований: адгезия к стали, эластичность, стойкость к вибрациям, температурная стабильность и химическая инертность по отношению к природному газу и одорантам.

На основе анализа литературных данных и существующих коммерческих продуктов для уплотнения резьбы в газовых системах в качестве базовой полимерной матрицы выбраны анаэробные акрилатные композиции. Данный выбор обусловлен следующими преимуществами: полимеризация происходит только в зазоре резьбы при отсутствии контакта с воздухом, что обеспечивает удобство монтажа и гарантированное заполнение микронеровностей; высокая механическая прочность после отверждения; химическая стойкость к углеводородам и одорантам, широкий диапазон рабочих температур (от -60°C до $+150^{\circ}\text{C}$) [6, 7].

В качестве конкретного объекта исследования выбрана двухкомпонентная акрилатная композиция, включающая: акрилатные мономеры (бутилметакрилат, 2-этилгексакрилат); усилитель адгезии – метакриловую кислоту; иницирующую систему (перекись бензола с активатором); стабилизаторы и модификаторы вязкости.

Для модификации матрицы выбраны многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ).

Многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) представляют собой протяжённые цилиндрические структуры диаметром 10...50 нм и длиной до нескольких микрометров, состоящие из нескольких свёрнутых графеновых слоёв [2, 8]. В сравнении с одностенными нанотрубками, МУНТ имеют более низкую стоимость производства при сохранении высоких прочностных характеристик, что важно для практического применения в ЖКХ [2].

МУНТ выбраны на основе нескольких неоспоримых преимуществ: высокая механическая прочность – предел прочности до 5 ГПа, модуль упругости до 1 ТПа, что обеспечивает армирующий эффект в полимерной матрице; развитая удельная поверхность (до 300...400 $\text{м}^2/\text{г}$) – создаёт обширную зону межфазного взаимодействия с полимером; гидрофобность – после соответствующей функционализации способствуют созданию барьерного слоя, препятствующего проникновению влаги к металлу; электропроводность – при достижении порога перколяции может обеспечить отвод блуждающих токов от зоны резьбового соединения [2, 8].

Наравне с преимуществами у МУНТ существует один недостаток: поверхность МУНТ изначально химически инертна и гидрофобна, что затрудняет их введение в полярные полимерные матрицы. Для решения этой проблемы необходима предварительная функционализация поверхности нанотрубок.

Для обеспечения равномерного распределения МУНТ в акрилатной матрице и создания прочных межфазных связей выбрана жидкофазная функционализация карбоксильными группами.

Методика приготовления экспериментальных образцов [9, 10]:

✓ *Исходные материалы:*

Многостенные углеродные нанотрубки «Таунит» (ООО «Нанотехцентр», г. Тамбов) с характеристиками: диаметр 20-40 нм, длина ≥ 2 мкм, удельная поверхность 180...200 $\text{м}^2/\text{г}$; анаэробный герметик на акрилатной основе; растворители: ацетон и изопропиловый спирт.

✓ *Функционализация МУНТ:*

Навеску МУНТ (5 г) помещают в круглодонную колбу с концентрированной HNO_3 (100 мл), кипятят с обратным холодильником при температуре 110...120 °С в течение 4 часов, охлаждают, разбавляют дистиллированной водой, фильтруют через мембранный фильтр (0,2 мкм), промывают водой до нейтрального pH, затем ацетоном, сушат при 100°С в вакуумном шкафу до постоянной массы.

Для получения гомогенного распределения нанотрубок в полимере используется комбинированный метод диспергирования: навеску функционализированных МУНТ смешивают с акрилатным мономером и обрабатывают ультразвуковым диспергатором (частота 22 кГц, мощность 400 Вт) в течение 30 минут с охлаждением ледяной баней для предотвращения перегрева, полученную суспензию вводят в остальную часть акрилатной композиции и перемешивают на высокоскоростной мешалке (1500 об/мин) в течение 15 минут, для удаления пузырьков воздуха образцы выдерживают при пониженном давлении (0,1 атм.) в течение 1 часа [9, 10].

Для исследования влияния концентрации нанотрубок готовятся следующие составы (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика исследуемых образцов	
Номер состава	Концентрация МУНТ, масс. %
1	0
2	0,01
3	0,05
4	0,1
5	0,5

Диапазон концентраций выбран на основе анализа литературных данных, согласно которым максимальный эффект улучшения свойств полимеров наблюдается при малых концентрациях нанотрубок (0,01...0,1 %), а дальнейшее увеличение содержания приводит к агломерации и ухудшению свойств [4].

После приготовления образцов следует провести коррозионные испытания, испытания на герметичность и провести исследование структуры и свойств полученного материала.

Испытания на герметичность при статическом давлении

Испытания проводятся на специально разработанном стенде. Стенд включает компрессор, ресивер, фильтр-осушитель, редуктор давления, манометры (класс точности 0,4), испытуемые образцы, соединенные последовательно и запорную арматуру. Рабочая среда – воздух или азот.

Собранные соединения подключаются к стенду, в систему подаётся давление 0,3 МПа (для соединений низкого давления) и 0,6 МПа (для соединений среднего давления), после стабилизации давления перекрывается подача газа и фиксируется начальное давление P_0 , Па, в течение времени испытаний (24, 48, 168 часов) регистрируется изменение давления ΔP .

Степень герметичности оценивается по скорости падения давления, Па/ч:

$$V = \frac{(P_0 - P_t)}{t}, \quad (1)$$

где P_t – давление через время t , Па; t – время испытаний, ч.

Чем меньше скорость падения давления, тем более герметичное соединение.

Испытания на чувствительность к вибрационным нагрузкам:

Для моделирования реальных условий эксплуатации проводятся испытания на вибростенде. Режим испытаний: частота вибрации 20...200 Гц, амплитуда 0,5 мм, продолжительность 2 часа в каждом направлении (вдоль оси соединения и перпендикулярно).

После вибрационных испытаний проводится повторная проверка герметичности. По завершение вибрационных испытаний скорость падения давления должна незначительно увеличиться, но не более чем на 50 %.

Термоциклические испытания:

Образцы помещаются в климатическую камеру. Цикл испытаний: нагрев до +60 °С, выдержка 2 часа; охлаждение до -30 °С, выдержка 2 часа. Количество циклов – 30. После каждого десятого цикла проводится проверка герметичности.

Коррозионные испытания:

Первый метод испытаний – испытания в камере солевого тумана:

Испытания проводятся в соответствии с ГОСТ 9.308-85. Подготовленные образцы помещаются в камеру солевого тумана. Режим испытаний: концентрация NaCl 5 %, температура 35±2 °С, pH раствора 6,5...7,2, производительность распыления 1...2 мл/час на 80 см². Продолжительность испытаний 240 часов, периодичность осмотра каждые 48 часов.

После испытаний образцы разбираются, очищаются от продуктов коррозии (раствором ингибированной кислоты) и оцениваются по 3 параметрам: визуальная оценка, потеря массы металла и глубина коррозионных поражений.

Второй метод испытаний – электрохимические исследования:

Проводятся для оценки защитных свойств герметиков в отношении щелевой коррозии. Используется трёхэлектродная ячейка: рабочий электрод – стальной образец с резьбой, покрытый герметиком; вспомогательный электрод – платиновый; электрод сравнения – хлорсеребряный. Среда – 3 % раствор NaCl.

Для оценки качества диспергирования и распределения МУНТ используются следующие методы: сканирующая электронная микроскопия; просвечивающая электронная микроскопия; оптическая микроскопия.

Далее проводятся термический анализ для определения температуры стеклования, степени отверждения и оценки термической стабильности и механические испытания для определения прочности при сдвиге и твёрдости.

Для обеспечения достоверности результатов применяются методы математической статистики:

✓ для каждого показателя рассчитывается среднее арифметическое значение:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (2)$$

где X_i – результаты отдельных измерений; n – количество измерений.

✓ среднееквадратичное отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (3)$$

✓ доверительный интервал при достоверной вероятности $P = 0,95$:

$$\Delta X = t(0,95; (n-1)) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (4)$$

где t – коэффициент Стьюдента.

План экспериментальных исследований сведен в табл. 2.

На основе анализа литературных источников [11, 12, 13] можно выделить основные структурные изменения, происходящие в полимерной матрице при введении углеродных нанотрубок:

✓ формирование межфазного слоя. Вокруг каждой наночастицы образуется слой полимера с изменёнными свойствами – так называемый «межфазный слой» толщиной от нескольких нанометров до десятков нанометров. В этом слое снижена молекулярная подвижность полимерных цепей, повышена плотность упаковки, изменена конформация макромолекул. Согласно теории Ю.С. Липатова [11], объём межфазных слоёв может достигать значительной величины даже при малых концентрациях наполнителя благодаря развитой поверхности наночастиц.

✓ образование перколяционной сетки. При достижении определённой концентрации (порога перколяции) нанотрубки образуют непрерывную пространственную сетку, пронизывающую весь объём полимера. Для углеродных нанотрубок порог перколяции обычно составляет 0,01...0,1 % масс., что значительно ниже, чем для традиционных наполнителей [12].

✓ ориентационные эффекты. В процессе нанесения герметика на резбугу возникают сдвиговые деформации, которые могут вызывать ориентацию нанотрубок вдоль направления течения материала. Это создаёт анизотропию свойств, что может быть использовано для направленного улучшения характеристик.

Таблица 2

План экспериментальных исследований

Этап	Наименование работы	Методы	Ожидаемые результаты
1	Функционализация МУНТ	Химическая обработка, инфракрасная спектроскопия, термогравиметрический анализ	Получение карбоксилированных МУНТ
2	Приготовление нанокомпозитов	Ультразвуковое диспергирование, смешение	Образцы с различной концентрацией МУНТ
3	Исследование структуры	Сканирующая электронная микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия, оптическая микроскопия	Оценка распределения МУНТ
4	Испытания на герметичность	Пневмоиспытания	Критерий герметичности каждого состава
5	Коррозионные испытания	Солевой туман, электрохимия	Скорость коррозии, глубина поражения
6	Механические испытания	Испытания на сдвиг	Прочность соединения
7	Термоциклирование	Климатическая камера	Стойкость к перепадам температур
8	Анализ и обобщение	Статистическая обработка	Выбор оптимального состава

На основе работ по газопроницаемости нанокомпозитов [13] можно выделить два основных механизма снижения проницаемости:

Лабиринтный эффект (теория Нильсена). Согласно модели Нильсена, наличие непроницаемых пластинчатых частиц увеличивает эффективный путь диффузии молекул газа. Для цилиндрических частиц (нанотрубок) коэффициент увеличения пути диффузии (τ) может быть описан соотношением:

$$\tau = 1 + \frac{L}{2 \cdot D} \cdot \varphi, \quad (5)$$

где L – длина нанотрубки, D – диаметр нанотрубки, φ – объёмная доля наполнителя.

Для типичных значений $\frac{L}{D} = 1000$ и $\varphi = 0,0005$ (0,05 % масс.) получаем $\tau \approx 1,25$, что

соответствует снижению проницаемости на 20 % только за счёт лабиринтного эффекта. Снижение сегментальной подвижности. Адсорбционное взаимодействие с поверхностью нанотрубок ограничивает их подвижность, что приводит к повышению температуры стеклования, уменьшению свободного объёма, снижению коэффициента диффузии газов. По данным [13], введение 0,1 % углеродных нанотрубок в эпоксидную матрицу снижает коэффициент диффузии кислорода в 2...3 раза.

Защитное действие наномодифицированных герметиков в отношении коррозии металлов обусловлено следующими факторами:

✓ барьерный механизм. Нанотрубки создают физический барьер, препятствующий проникновению воды, кислорода и агрессивных ионов (Cl^- , SO_4^{2-}) к поверхности металла.

✓ пассивация поверхности. Функциональные группы на поверхности модифицированных углеродных нанотрубок (карбоксильные, гидроксильные) могут хемосорбироваться на оксидной плёнке металла, уплотняя её и повышая защитные свойства.

✓ ингибирование электрохимических реакций. Углеродные нанотрубки обладают электронной проводимостью и могут участвовать в перераспределении заряда на границе раздела, изменяя кинетику электродных реакций.

Согласно исследованиям [14], покрытия на основе эпоксидной смолы с 0,5 % углеродных нанотрубок обеспечивают снижение скорости коррозии стали в 5...7 раз по сравнению с ненаполненным покрытием.

Модель диффузии газа через нанокомпозитный слой.

Для описания процесса переноса газа через слой герметика в резьбовом зазоре рассмотрим следующую модель. Допущения модели: герметик представляет собой однородную среду с равномерно распределёнными непроницаемыми цилиндрическими включениями (нанотрубками); диффузия подчиняется закону Фика; толщина слоя герметика в резьбовом зазоре значительно меньше длины соединения.

Эффективный коэффициент диффузии $D_{эф}$ для такой системы может быть рассчитан по модифицированной формуле Максвелла-Гарнетта для анизотропных включений:

$$D_{эф} = \frac{D_0 \cdot (1 - \varphi)}{1 + \frac{L}{2 \cdot D} \cdot \varphi}, \quad (6)$$

где D_0 – коэффициент диффузии в чистом полимере.

Используя типичные значения $D_0 = 10^{-7} \frac{см^2}{с}$ для метана в акрилатных полимерах и

$\frac{L}{D} = 1000$, получим зависимость относительного коэффициента диффузии от концентрации углеродных нанотрубок (табл. 3).

Таблица 3

Зависимость относительного коэффициента диффузии от концентрации углеродных нанотрубок

Концентрация углеродных нанотрубок, % масс.	Объёмная доля φ	$\frac{D_{эф}}{D_0}$	Снижение проницаемости, %
0	0	1	0
0,01	0,0001	0,95	5
0,05	0,0005	0,8	20
0,1	0,001	0,67	33
0,5	0,005	0,33	67

Как видно из табл. 3, максимальный эффект достигается при концентрациях 0,1...0,5 %, однако при высоких концентрациях начинают сказываться эффекты агломерации, которые не учтены в данной идеализированной модели.

Модель коррозионного процесса в резьбовом зазоре:

Для оценки влияния герметика на скорость коррозии в резьбовом зазоре рассмотрим модель щелевой коррозии. Скорость коррозии в щелевом зазоре ограничивается скоростью доставки окислителя (кислорода) вглубь зазора. Поток кислорода через слой герметика может быть описан уравнением:

$$J = \frac{D_{эф} \cdot (C_0 - C)}{\delta}, \quad (7)$$

где C_0 – концентрация кислорода снаружи, C – концентрация в глубине зазора, δ – толщина слоя герметика.

Стационарная скорость коррозии пропорциональна потоку кислорода. Таким образом, снижение коэффициента диффузии в 2 раза $\left(\frac{D_{эф}}{D_0} = 0,5\right)$ приведёт к пропорциональному снижению скорости коррозии также в 2 раза.

На основе анализа литературных данных [14, 15, 16, 17] и теоретических моделей можно построить прогнозную зависимость «свойство – концентрация» (рис. 2...4).

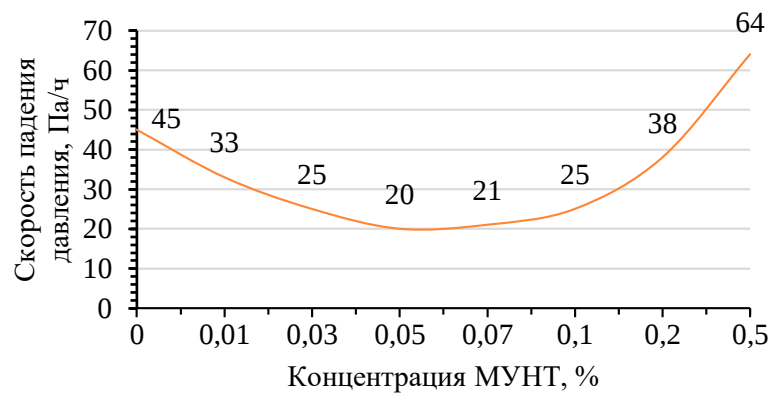


Рис. 2. График зависимости скорости падения давления при проведении испытаний на герметичность от концентрации МУНТ

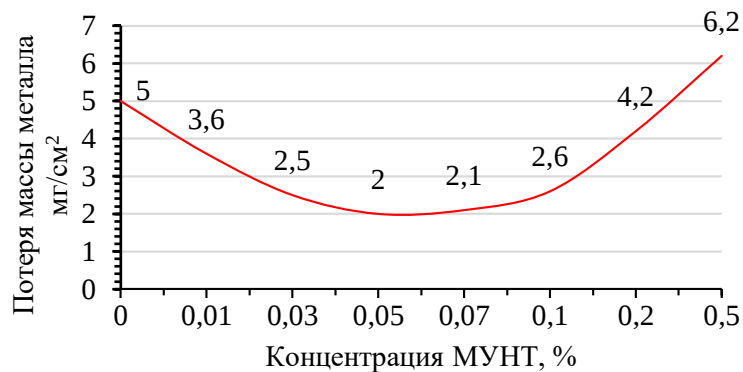


Рис. 3. График зависимости потери массы металла при проведении коррозионных испытаний от концентрации МУНТ

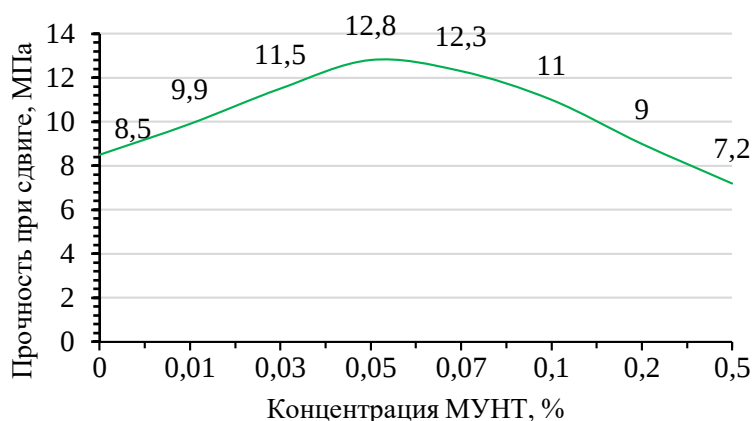


Рис. 4. График зависимости прочности при сдвиге при проведении прочностных испытаний от концентрации МУНТ

Оптимальная концентрация определяется конкуренцией двух факторов: положительного (улучшение барьерных и механических свойств) – растёт с увеличением концентрации, стремясь к насыщению; отрицательного (агломерация, ухудшение технологичности) – начинает доминировать после определённого порога (обычно 0,1...0,5 % масс.).

На основе работы [14] можно прогнозировать, что оптимальная концентрация функционализированных углеродных нанотрубок для акрилатных герметиков будет находиться в интервале 0,03...0,1 % масс., с наиболее вероятным значением около 0,05 % масс.

На основе обобщения литературных данных составлена сравнительная характеристика различных типов уплотнительных материалов (табл. 4).

Таблица 4

Сравнительная характеристика уплотнительных материалов

Показатель	Льняная прядь с пастой	ФУМ-лента	Анаэробный герметик (стандартный)	Наномодифицированный герметик (прогноз)
Герметичность при 0,3 МПа V, Па/ч	80...150	50...100	30...50	15...25
Коррозионная стойкость	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая
Долговечность, лет	3...5	5...8	10...15	20...25
Температурный диапазон, °C	-40...+80	-60...+120	-60...+150	-60...+150
Вибрационная стойкость	Низкая	Низкая	Средняя	Высокая

Анализ показывает, что наномодифицированные герметики прогнозируемо превосходят традиционные материалы по всем эксплуатационным характеристикам.

Проведем оценку экономической эффективности применения наномодифицированных герметиков на основе сравнения затрат и получаемого эффекта.

Затраты:

Стоимость стандартного анаэробного герметика 500...800 руб./кг; стоимость функционализированных МУНТ 5000...10000 руб./кг; увеличение стоимости материала при введении 0,05% МУНТ – 2,5...5 руб./кг (менее 1 %).

Эффект:

Увеличение срока службы в 1,5...2 раза, снижение затрат на ремонты и аварийно-восстановительные работы, повышение безопасности газоснабжения.

Таким образом, применение наномодифицированных герметиков экономически целесообразно даже при незначительном удорожании материала.

Применение разработанного наномодифицированного герметика позволит снизить аварийность в системах газоснабжения жилых зданий, так как повышается герметичность (в 2...4 раза), увеличивается коррозионная стойкость (в 3...5 раз), сохраняется работоспособность при вибрационных и температурных нагрузках; увеличить межремонтный срок службы резьбовых соединений с 10...15 до 20...25 лет, что снизит эксплуатационные затраты газораспределительных организаций; уменьшить потери газа за счёт минимизации микроутечек через резьбовые соединения; повысить безопасность за счёт снижения риска взрыва бытового газа.

Заключение.

Создана теоретическая модель, описывающая процессы диффузии газа и массопереноса агрессивных сред через наномодифицированный слой в резьбовом зазоре. Определён оптимальный диапазон концентраций функционализированных многостенных углеродных нанотрубок 0,03...0,1 % масс. с наиболее вероятным значением 0,05 % масс., обеспечивающий максимальное улучшение эксплуатационных характеристик. Установлены количественные зависимости параметров герметичности и коррозионной стойкости от концентрации нанонаполнителя.

На основе теоретического анализа и математического моделирования прогнозируется снижение скорости потери давления в 2...4 раза, повышение коррозионной стойкости в 3...5 раз и увеличение срока службы резьбовых соединений с 10...15 до 20...25 лет при использовании разработанного материала. Экономическая оценка подтверждает целесообразность применения наномодифицированных герметиков, поскольку увеличение стоимости материала составляет менее 1 % при кратном повышении эксплуатационных характеристик.

Полученные результаты создают основу для разработки практических методов и технологий применения наномодифицированных герметиков в системах газоснабжения жилых зданий, позволяющий перейти от практики аварийных ремонтов к системе планово-предупредительного обслуживания и существенно повысить безопасность эксплуатации внутридомового газового оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Раков, Э. Г.** Нанотрубки и фуллерены: учеб. пособие для студентов, обучающихся по спец. 210602 «Наноматериалы» / Э. Г. Раков. – Москва: Физматкнига: Логос, 2006. – 374 с.
2. **Ткачев, А. Г.** Углеродный наноматериал «Таунит» – структура, свойства, производство и применения / А. Г. Ткачев // Перспективные материалы. – 2007. – Т. 177. – № 3. – С. 5-9.
3. **Дьячков, П. Н.** Углеродные нанотрубки. Строение, свойства, применения / П. Н. Дьячков. – Москва: Бином, 2006. – 293 с.
4. **Мирошниченко, В. Ю.** Синтез, свойства и применение многостенных углеродных нанотрубок и графена / В. Ю. Мирошниченко, Н. В. Алексеева, Т. А. Винникова // Актуальные вопросы современности глазами молодых исследователей : сборник материалов IV Междунар. науч.-практ. конф. – Омск: СибАДИ, 2019. – С. 478-483.
5. **Medvedeva, O. N.** Routes of laying gas supply system pipeline / O. N. Medvedeva, V. D. Penenko // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. – 2021. – № 1. – Pp. 153-163.
6. **Закирова, Л. Ю.** Эластомерные клеевые составы для полимерных изоляционных материалов / Л. Ю. Закирова, С. И. Вольфсон, Ю. Н. Хакимуллин // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 9. – С. 865-867.

7. **Имамутдинов, И. В.** Герметики на основе эластомеров / И. В. Имамутдинов, Р. Ю. Галимзянова, Ю. Н. Хакимуллин // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18. – № 6. – С. 69-74.
8. **Abu Al-Rub, R. K.** On the Aspect Ratio Effect of Multi-Walled Carbon Nanotube Reinforcements on the Mechanical Properties of Cementitious Nanocomposites / R. K. Abu Al-Rub, A. I. Ashour, B. M. Tyson // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 35. – Pp. 647-655.
9. **Бадамшина, Э. Р.** Модифицирование углеродных нанотрубок и синтез полимерных композитов с их участием / Э. Р. Бадамшина, М. П. Гафурова, Я. И. Эстрин // Успехи химии. – 2010. – Т. 79. – № 11. – С. 1027-1064.
10. Модифицирование многостенных углеродных нанотрубок карбоксильными группами и определение степени функционализации / М. Н. Кирикова, А. С. Иванов, С. В. Савилов, В. В. Лунин // Известия АН. Сер. химическая. – 2008. – № 2. – С. 291-295.
11. **Липатов, Ю. С.** Физико-химические основы наполнения полимеров / Ю. С. Липатов. – М. : Химия, 1991. – 304 с.
12. **Coleman, J. N.** Mechanical Reinforcement of Polymers Using Carbon Nanotubes / J. N. Coleman, U. Khan, Y. K. Gun'ko // Advanced Materials. – 2006. – Vol. 18. – No. 6. – Pp. 689-706.
13. **Nielsen, L. E.** Models for the Permeability of Filled Polymer Systems / L. E. Nielsen // Journal of Macromolecular Science. Part A. – 1967. – Vol. 1. – No. 5. – Pp. 929-942.
14. **Ваганова, Е. С.** Акриловый композит с включением многостенных углеродных нанотрубок / Е. С. Ваганова, О. А. Давыдова, М. В. Бузаева [и др.] // Пластические массы. – 2017. – № 5-6. – С. 25-27.
15. **Елецкий, А. В.** Механические свойства углеродных нанотрубок / А. В. Елецкий // Успехи физических наук. – 2007. – Т. 177. – № 3. – С. 223-274. – DOI: 10.3367/UFNr.0177.200703a.0233.
16. **Кононенко, А. С.** Теплостойкость анаэробных и силиконовых герметиков / А. С. Кононенко, С. М. Гайдар // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Агроинженерия. – 2012. – № 1. – С. 45-47.
17. **Baughman, R. H.** Carbon Nanotubes – the Route Toward Applications / R. H. Baughman, A. A. Zakhidov, W. A. de Heer // Science. – 2002. – Vol. 297. – No. 5582. – Pp. 787-792.

Поступила в редакцию 2 апреля 2026

ENSURING THE TIGHTNESS AND CORROSION RESISTANCE OF THREADED CONNECTIONS OF GAS EQUIPMENT IN RESIDENTIAL BUILDINGS USING NANO-MODIFIED SEALANTS

E. S. Aralov, N. Ja. Marchukov, A. S. Salieva, M. R. Streljaeva

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

Nikita Jaroslavovich Marchukov, student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-53-21; e-mail: marchukovnikita7@gmail.com

Anastasia Sergeevna Salieva, Assistant Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-53-21; e-mail: avoloh@cchgeu.ru

Maria Romanovna Streljaeva, student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7 (473)271-53-21; e-mail: mstreljaeva@cchgeu.ru

This article discusses the problem of ensuring the reliability of threaded connections of indoor gas equipment, which account for up to 65...70 % of all gas leaks in residential buildings. We have identified the main destabilizing factors: mechanical stress, temperature fluctuations, corrosion processes, and the chemical effect of odorants. We as well substantiated the ineffectiveness of traditional sealing materials under the combined influence of these factors. As a promising solution, we propose the use of nanomodified acrylate sealants with the addition of functionalized multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs). Based on theoretical analysis and mathematical modeling, we determined the optimal range of MUNT concentrations (0,03...0,1 % mass.), with the most likely value of 0,05 % mass., which provides the maximum improvement in performance. We established the mechanisms of increasing the barrier properties of nanocomposites: the labyrinth effect, the reduction of the segmental mobility of polymer chains, the formation of interfacial layers and percolation structures. It is predicted that the rate of pressure loss will decrease by 2...4 times, the corrosion resistance will increase by 3...5 times, and the service life of the joints will increase from 10...15 to 20...25 years. Also, we substantiated the economic feasibility of using nanomodified sealants.

Keywords: gas supply in residential buildings; threaded connections; sealants; nanomaterials; carbon nanotubes; corrosion resistance; indoor gas equipment.

REFERENCES

1. **Rakov E. G.** *Nanotubes and fullerenes: textbook for students studying specialization 210602 "Nanomaterials"*. Moscow, Fizmatkniga, Logos. 2006. 374 p. (in Russian)
2. **Tkachev A. G.** *Carbon nanomaterial "Taunit": structure, properties, production and applications*. Promising Materials. 2007. Vol. 177. No. 3. Pp. 5-9. (in Russian)
3. **Dyachkov P. N.** *Carbon nanotubes. Structure, properties, and applications*. Moscow, Binom. 2006. 293 p. (in Russian)
4. **Miroshnichenko V. Yu., Alekseeva N. V., Vinnikova T. A.** *Synthesis, properties, and application of multi-walled carbon nanotubes and graphene. Current issues of modernity through the eyes of young researchers: collection of materials of the IV International scientific-practical conference*. Omsk, SibADI. 2019. Pp. 478-483. (in Russian)
5. **Medvedeva O. N., Penenko V. D.** *Routes of laying gas supply system pipeline*. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2021. No. 1. Pp. 153-163.
6. **Zakirova L. Yu., Volfson S. I., Khakimullin Yu. N.** *Elastomeric adhesive compositions for polymer insulation materials*. Bulletin of Kazan Technological University. 2010. No. 9. Pp. 865-867. (in Russian)
7. **Imamutdinov I. V., Galimzyanova R. Yu., Khakimullin Yu. N.** *Elastomer-based sealants*. Bulletin of Kazan Technological University. 2015. Vol. 18. No. 6. Pp. 69-74. (in Russian)
8. **Abu Al-Rub R. K., Ashour A. I., Tyson B. M.** *On the aspect ratio effect of multi-walled carbon nanotube reinforcements on the mechanical properties of cementitious nanocomposites*. Construction and Building Materials. 2012. Vol. 35. Pp. 647-655.
9. **Badamshina E. R., Gafurova M. P., Estrin Ya. I.** *Modification of carbon nanotubes and synthesis of polymer composites with their participation*. Russian Chemical Reviews. 2010. Vol. 79. No. 11. Pp. 1027-1064. (in Russian)
10. **Kirikova M. N., Ivanov A. S., Savilov S. V., Lunin V. V.** *Modification of multi-walled carbon nanotubes by carboxyl groups and determination of the degree of functionalization*. Izvestiya of the Academy of Sciences. Chemical Series. 2008. No. 2. Pp. 291-295. (in Russian)
11. **Lipatov Yu. S.** *Physical and chemical foundations of polymer filling*. Moscow, Khimiya. 1991. 304 p. (in Russian)

12. **Coleman J. N., Khan U., Gun'ko Y. K.** *Mechanical reinforcement of polymers using carbon nanotubes*. Advanced Materials. 2006. Vol. 18. No. 6. Pp. 689-706.
13. **Nielsen L. E.** *Models for the permeability of filled polymer systems*. Journal of Macromolecular Science. Part A. 1967. Vol. 1. No. 5. Pp. 929-942.
14. **Vaganova E. S., Davydova O. A., Buzaeva M. V.** *Acrylic composite with inclusion of multi-walled carbon nanotubes*. Plastic Masses. 2017. No. 5-6. Pp. 25-27. (in Russian)
15. **Eletskii A. V.** *Mechanical properties of carbon nanotubes*. Physics-Uspekhi. 2007. Vol. 177. No. 3. Pp. 223-274. DOI: 10.3367/UFNr.0177.200703a.0233. (in Russian)
16. **Kononenko A. S., Gaidar S. M.** *Heat resistance of anaerobic and silicone sealants*. Bulletin of the Moscow State Agrarian University. Agroengineering. 2012. No. 1. Pp. 45-47. (in Russian)
17. **Baughman R. H., Zakhidov A. A., de Heer W. A.** *Carbon nanotubes – the route toward applications*. Science. 2002. Vol. 297. No. 5582. Pp. 787-792.

Received 2 April 2026

Для цитирования:

Обеспечение герметичности и коррозионной стойкости резьбовых соединений газового оборудования в жилых домах с применением нано-модифицированных герметиков / Е. С. Аралов, Н. Я. Марчуков, А. С. Салиева, М. Р. Стреляева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 2(37). – С. 61-73. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.007.

For citation:

Aralov E. S., Marchukov N. Ja., Salieva A. S., Streljaeva M. R. *Ensuring the tightness and corrosion resistance of threaded connections of gas equipment in residential buildings using nano-modified sealants*. Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 2(37). Pp. 61-73. DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.007. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.008

УДК 692.92:725.13.053

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ПОМЕЩЕНИИ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ С УЧЕТОМ АРХИТЕКТУРНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

С. В. Аносов, Д. В. Лобанов, М. С. Кононова, П. М. Гребенюк

Аносов Сергей Васильевич, студент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: promvent36@yandex.ru

Лобанов Дмитрий Валерьевич, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: LDV-36@mail.ru

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

Гребенюк Павел Михайлович, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: galereja@mail.ru

Исследуется проблема модернизации систем вентиляции в помещениях с высокими архитектурно-эстетическими требованиями, где приоритетом является сохранение исторического облика интерьера. Объектом выступает зал совещаний, требующий обновления инженерного оборудования без замены существующих декоративных воздухораспределителей. Цель работы – обеспечение нормативных параметров микроклимата за счет оптимизации внутренней конструкции воздухораспределительных устройств. Представлены результаты численного моделирования аэродинамики в программной среде SolidWorks. Рассмотрены варианты без изменения конструкции воздухораспределителей и с внедрением перфорированных пластин. Путем итерационного подбора определено оптимальное количество пластин и диаметр отверстий (10 мм), обеспечивающий равномерность потока воздуха. Проанализированы поля скоростей и концентрации углекислого газа в обслуживаемой зоне. Результаты моделирования подтвердили соответствие принятого проектного решения нормативам качества воздушной среды

Ключевые слова: воздухораспределение; реконструкция систем вентиляции; архитектурные ограничения; перфорированные пластины; численное моделирование; качество воздуха.

Реконструкция инженерных систем в существующем здании представляет собой сложную научно-техническую задачу, требующую учёта архитектурных, энергетических, санитарно-гигиенических и эксплуатационных ограничений [1, 2]. Адаптивное повторное использование существующих систем вентиляции становится всё более распространённым подходом, поскольку системы вентиляции являются основным потребителем энергии в зданиях. Особую сложность представляет реконструкция систем климатизации в объектах с повышенными требованиями к интерьеру, таких как залы совещаний, конференц-залы, кабинеты руководителей. Как показывает практика, современные вентиляционные технологии могут быть успешно интегрированы в исторические и архитектурно значимые здания без нарушения их эстетической ценности.

Комплексный подход проектировщика – учёт энергетических, санитарно-гигиенических, эстетических и эксплуатационных требований – является необходимым условием успешной реконструкции систем климатизации в существующих зданиях. При этом рекомендуется использование современных инструментов моделирования для опти-

мизации воздухораспределения и внедрение алгоритмов прогнозирующего контроля для повышения эффективности управления качеством воздуха [3, 4].

Применительно к объекту, рассматриваемому в статье, в техническом задании была поставлена цель: обновление системы вентиляции с заменой оборудования и материалов при сохранении существующих воздухораспределительных устройств, увязанных с архитектурно-планировочным решением помещения, а также внедрение современных технических решений управления микроклиматом. Такая задача соответствует тенденциям в области реконструкции зданий, где приоритетом является не полная замена, а возможность адаптации существующих систем с повышением их энергоэффективности и функциональности.

Объектом исследования является система приточной вентиляции зала совещания. Внешний вид помещения и воздухораспределительных устройств представлен на рис. 1, 2.



Рис. 1. Внешний вид помещения



Рис. 2. Внешний вид воздухораспределительных устройств, интегрированных в строительные конструкции помещения

Расчётное количество людей в исследуемом помещении – 218 ч., требуемый воздухообмен составляет $17550 \text{ м}^3/\text{ч}$.

При реконструкции системы вентиляции принято решение о сохранении общеобменной приточно-вытяжной вентиляции с механическим и естественным побуждением движения воздуха. В холодный период года (ХПГ) наружный воздух перед подачей его в помещение очищается от атмосферной пыли в фильтрах и подогревается в водяном воздухонагревателе.

В теплый период года (ТПГ) предусмотрено центральное кондиционирование с

охлаждением воздуха испарительным способом. Вследствие ограниченной тепловой мощности [2] принято решение применить систему с переменной (динамической) рециркуляцией воздуха. Так как основным индикатором качества воздушной среды служит концентрация углекислого газа (CO_2) по ГОСТ 30494-2011, то это энергосберегающее мероприятие, при условии размещения датчиков CO_2 , не нарушит газовый комфорт в помещении. Поэтому предлагается к реализации техническое решение с частичной рециркуляцией воздуха в зависимости от заданной концентрации CO_2 в помещении. Таким образом, система будет работать в энергосберегающем режиме, одновременно поддерживая качество микроклимата на требуемом уровне [5, 6].

Подача воздуха осуществляется в верхнюю и рабочую зоны через существующие решетки в строительном исполнении (одновременно выполняющие роль декора). Удаляется воздух из рабочей зоны через существующие решетки и из верхней зоны через существующий дефлектор системы ВЕ6, оснащенный заслонкой с электрическим приводом (рис. 3).

При разработке проекта предусмотрены мероприятия по автоматизации:

- ✓ для приточной установки - защита воздухонагревателя от размораживания в рабочее и нерабочее время;
- ✓ регулирование температуры воздуха в помещении: в ХПП – изменением производительности нагревателя и соотношения количества наружного и рециркуляционного воздуха, в теплый период – изменением производительности охладителя и соотношения количества наружного и рециркуляционного воздуха;
- ✓ автоматическое и дистанционное отключение всех систем вентиляции при пожаре с установкой кнопки на пути эвакуации.

Воздуховоды изготавливаются из оцинкованной стали класса «П» с уплотнением фланцевых соединений. Воздуховоды в пределах запотолочного пространства зала покрываются листовой тепло-, звукоизоляцией из вспененного полиэтилена.

Воздухораспределители (ВР), изготовленные в архитектурно-строительном исполнении и установленные в помещении, предполагается обновить с использованием современных материалов, оставив их конструктивный и внешний (архитектурный) вид. На ответвлениях к ВР выполнено размещение дроссельных заслонок для регулирования расчетных расходов воздуха, обеспечивающих равномерное распределение параметров микроклимата в плане и объеме помещения.

Моделирование работы системы воздухораспределения.

Моделирование выполнено с помощью программы SolidWorks – программного комплекса, предназначенного для автоматизированного проектирования (САПР) и используемого для создания трёхмерных моделей деталей, сборок, чертежей и их инженерного анализа [4, 7, 8, 9].

Так как основным элементом вентиляционной системы, сохраняемым при реконструкции, являются воздухораспределители (точнее – их декоративные раздающие решетки, см. рис. 1, 2), то при разработке проекта реконструкции рассматривается задача целесообразности сохранения или модернизации существующих воздухораспределительных устройств:

- ✓ вариант 1: без изменения конструкции (существующий распределитель),
- ✓ вариант 2: с размещенными внутри корпуса распределительного устройства (камеры статического давления) пластин, способствующих более равномерному распределению воздушного потока к существующим декоративным раздающим решеткам (10 отверстий, см. рис. 4).

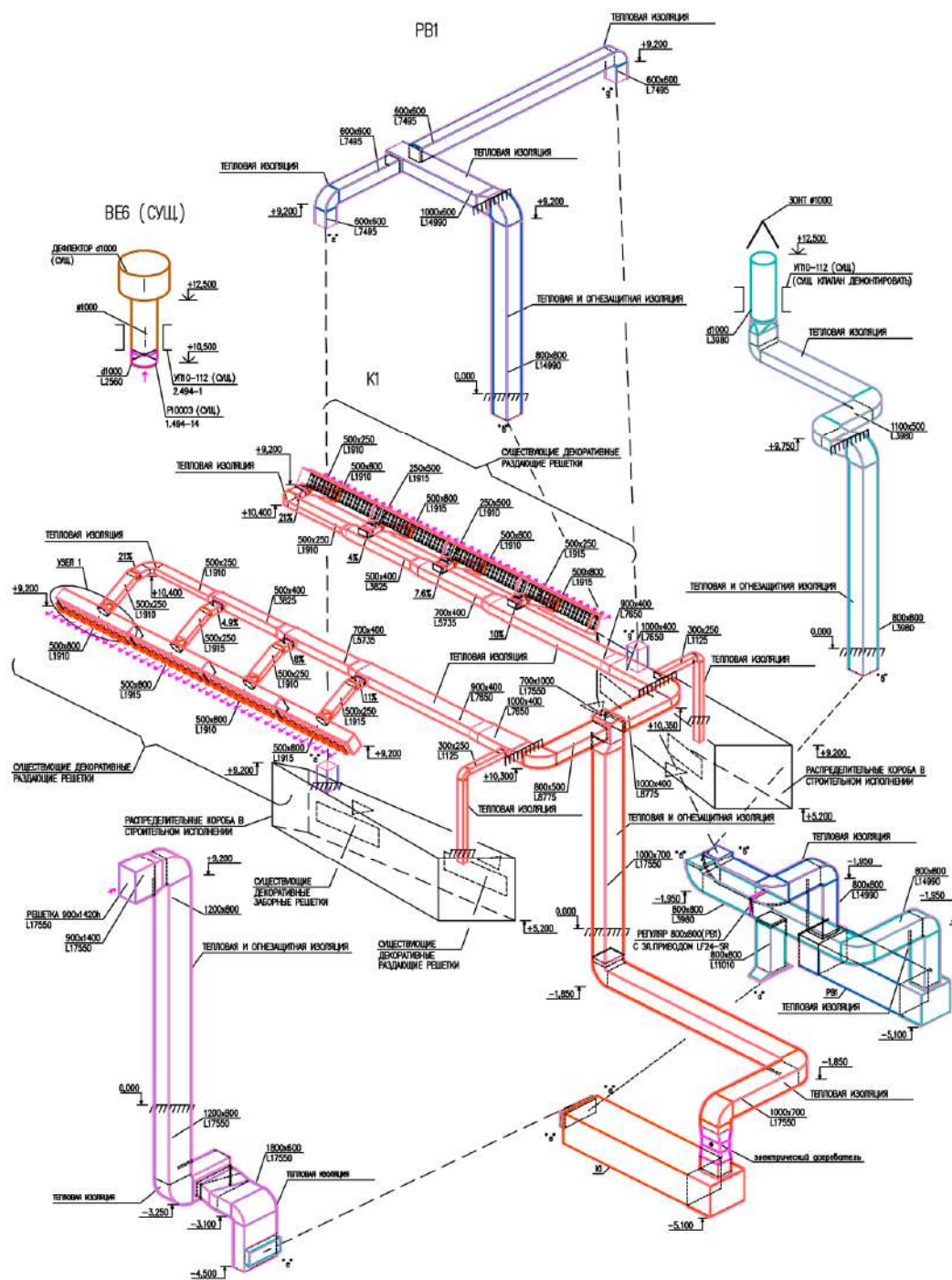


Рис. 3. Схемы систем вентиляции исследуемого помещения

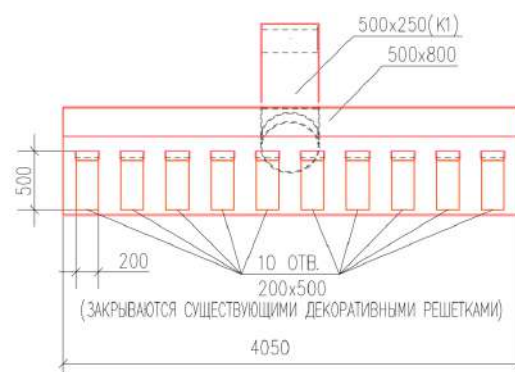


Рис. 4. Воздухораспределитель с отверстиями в существующей декоративной раздающей решетке

На рис. 5 представлены результаты моделирования воздушных потоков рассматриваемых вариантов воздухораспределительных устройств.

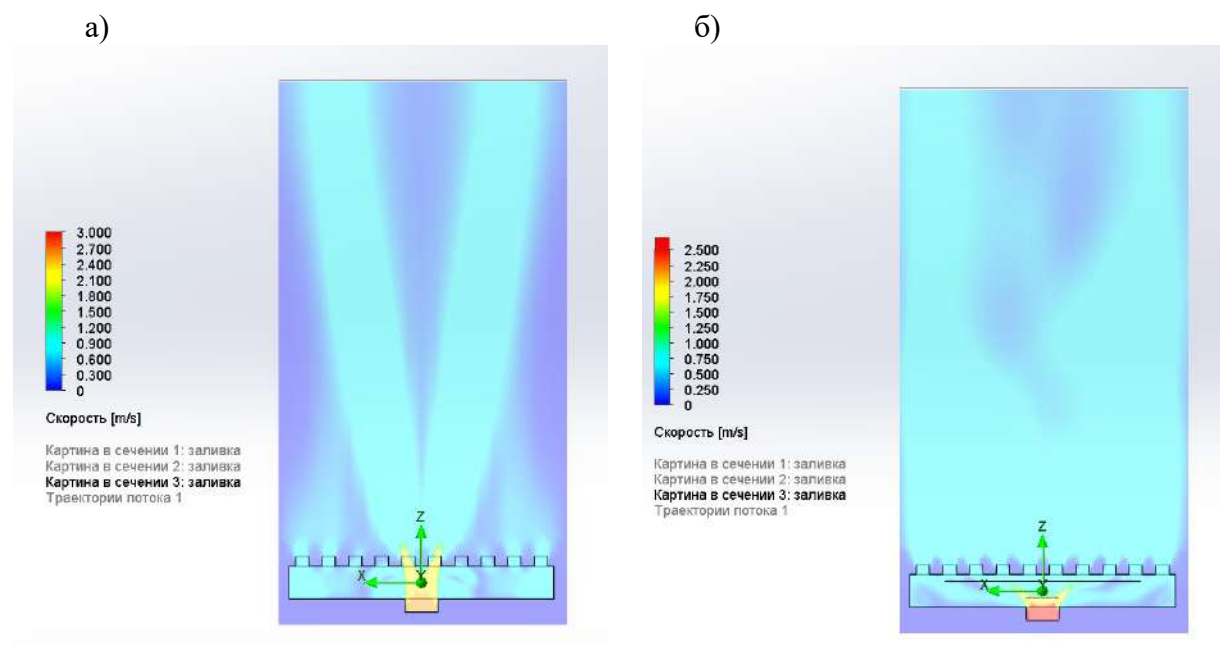


Рис. 5. Распределение скоростей воздушных потоков
в исследуемых вариантах воздухораспределительных устройств:
а – без изменения конструкции; б – воздухораспределитель с добавлением перфорированных пластин

Как видно из рис. 5, движение воздушного потока на выходе из распределительно-го устройства происходит более равномерно, если внести изменения в его конструкцию.

Перфорированные пластины представляют собой листовой элемент из оцинкованной стали (см. рис. 6) и размещены в камере статического давления в определенной последовательности. Первый ряд пластин расположен перед декоративными решетками (отверстиями для выхода воздуха) на расстоянии 100 мм. Для удобства моделирования рас-секателя воздуха из пластин при каждом новом исследовании добавляли по одной пла-стине в каждую сторону от оси входного патрубка. В итоге подобрана оптимальная схема для расположения пластин в камере статического давления (см. рис. 7).

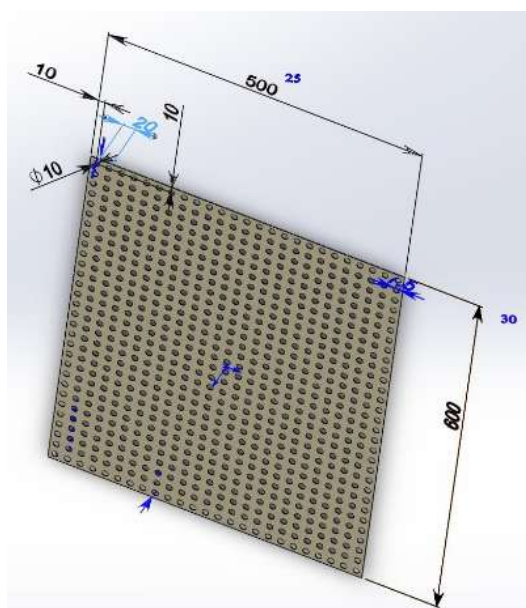


Рис. 6. Перфорированная пластина

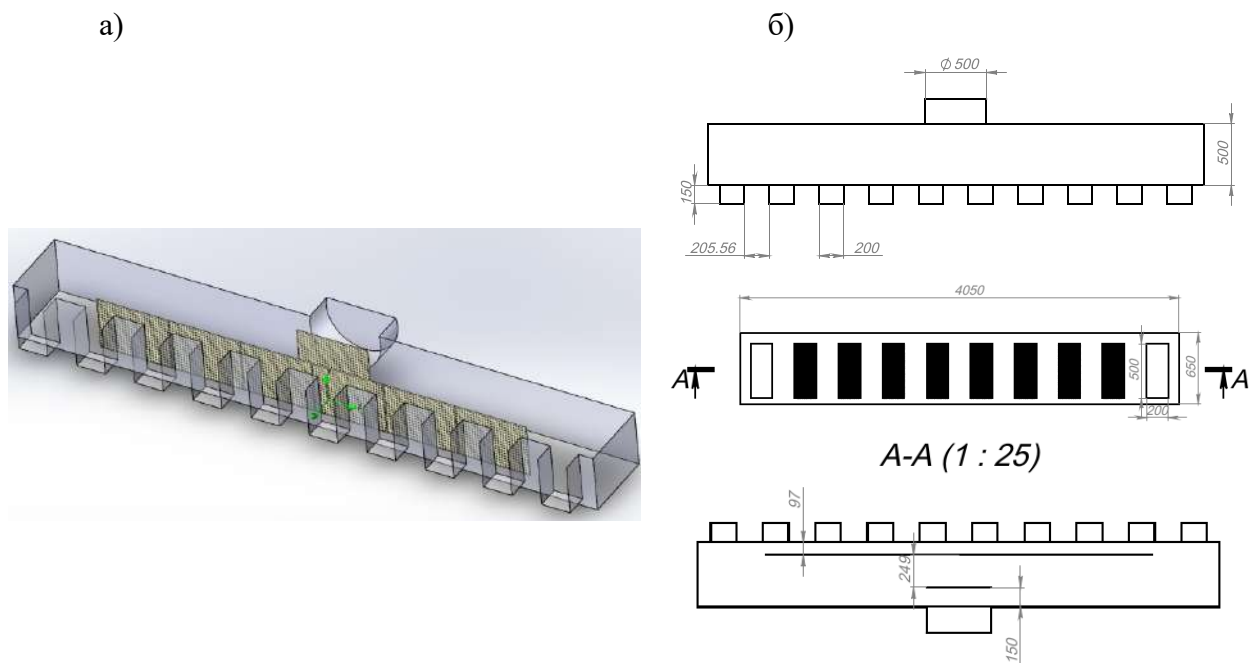


Рис. 7. Схема размещения пластин в камере статического давления воздухораспределителя:
а – общий вид; б – чертежи с указанием геометрических параметров

Для определения оптимального размера отверстий в перфорированной пластине было проведено численное моделирование для определения расхода воздуха при нескольких размерах отверстий: 6, 8, 10, 12 мм. Схема расположения пластин в корпусе воздухо-распределителя приведена на рис. 8. Результаты определения объемного расхода воздуха при различных значениях размеров отверстий представлены в табл. 1.

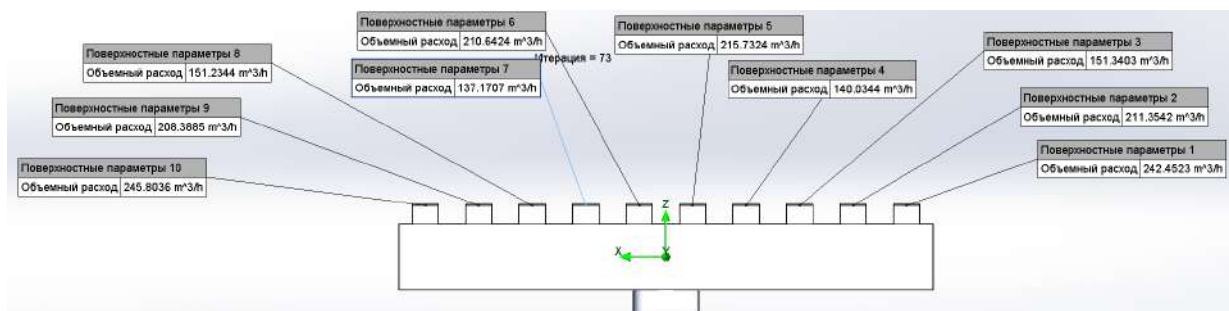


Рис. 8. Схема с указанием расходов воздуха через воздуховыпускные отверстия ВР

Таблица 1

Результаты определения расходов воздуха при установке перфорированных пластин

Номер отверстия на схеме	Объемный расход воздуха, м³/ч при различных значениях размеров отверстий в перфорированной пластине			
	0,006м	0,008 м	0,01 м	0,012 м
1	289,053	258,147	242,452	225,178
2	219,580	216,348	211,354	196,619
3	163,032	164,029	151,340	147,321
4	120,539	127,360	140,034	139,601
5	141,237	196,352	215,732	245,255
6	186,056	181,306	210,642	254,916
7	124,066	131,667	137,170	139,454
8	159,387	163,665	151,234	142,772
9	224,873	215,401	208,388	199,971
10	284,395	258,931	245,803	222,541

В результате проведенного моделирования установлено, что равномерный поток воздуха через ВР обеспечивается при размере отверстий в перфорированной пластине, равном 10 мм.

Для дальнейшего исследования в качестве параметров воздуха, подлежащих анализу, выбраны скорость воздуха и концентрация углекислого газа [7, 8, 9]. На рис. 9 представлено изображение зала с распределением подвижности воздуха в объеме помещения.

На рис. 10 представлены изображения плоскостей (изоповерхностей) подвижности воздуха на различных высотах помещения: 1,5 метра (обслуживаемая зона), 6 и 8 метров.

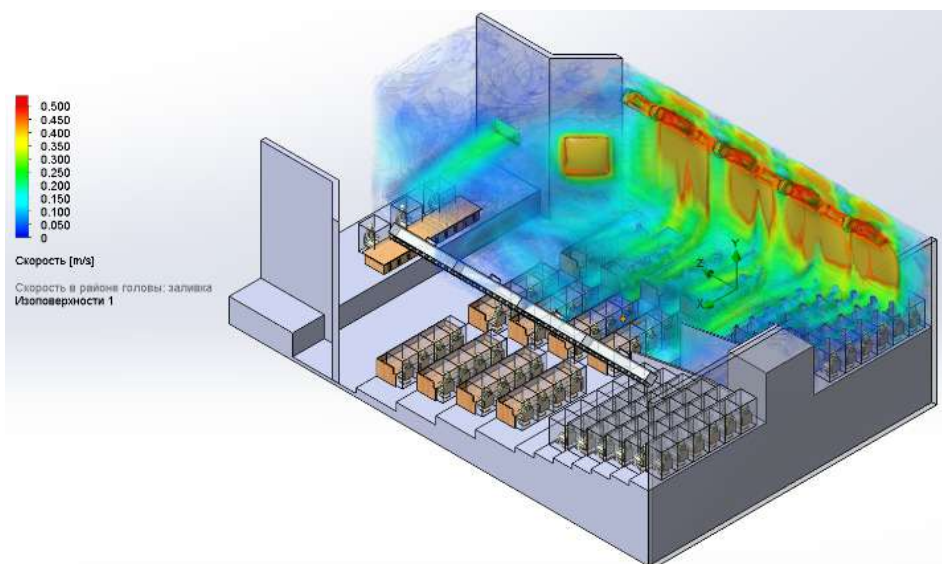


Рис. 9. Распределение скорости воздушных потоков в объеме помещения

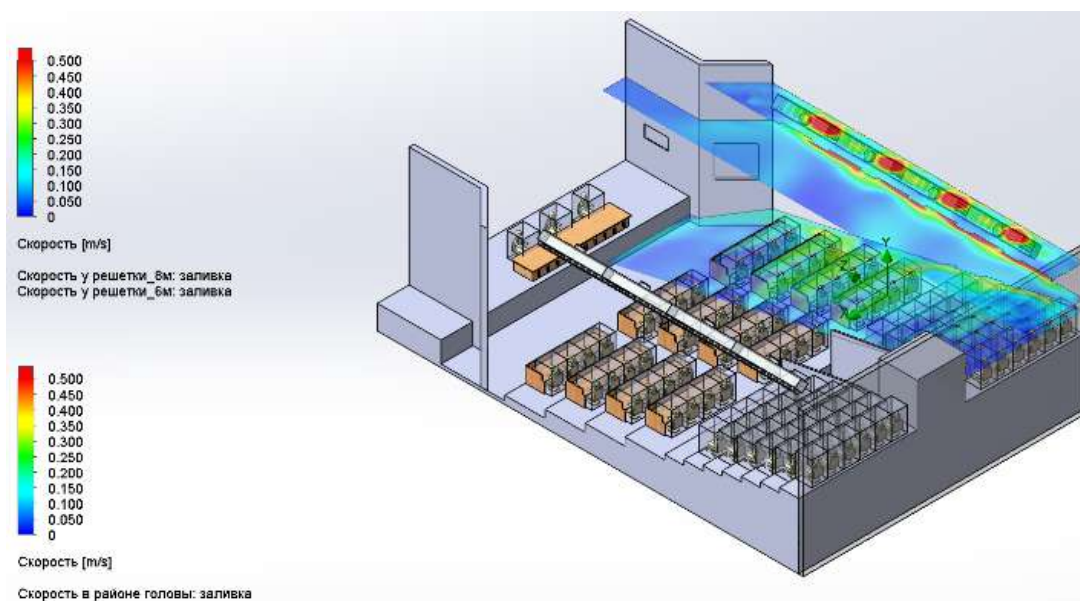


Рис. 10. Изоповерхности параметра «подвижность» воздуха на высоте 1,5 (обслуживаемая зона), 6 и 8 метров

Из рис. 9, 10 видно, что подвижность в обслуживаемой (эксплуатируемой) зоне помещения находится в пределах нормативных значений.

Рассмотрим распределение углекислого газа. На рис. 11 представлено изображение зала с распределением концентрации CO_2 в эксплуатируемом объеме помещения.

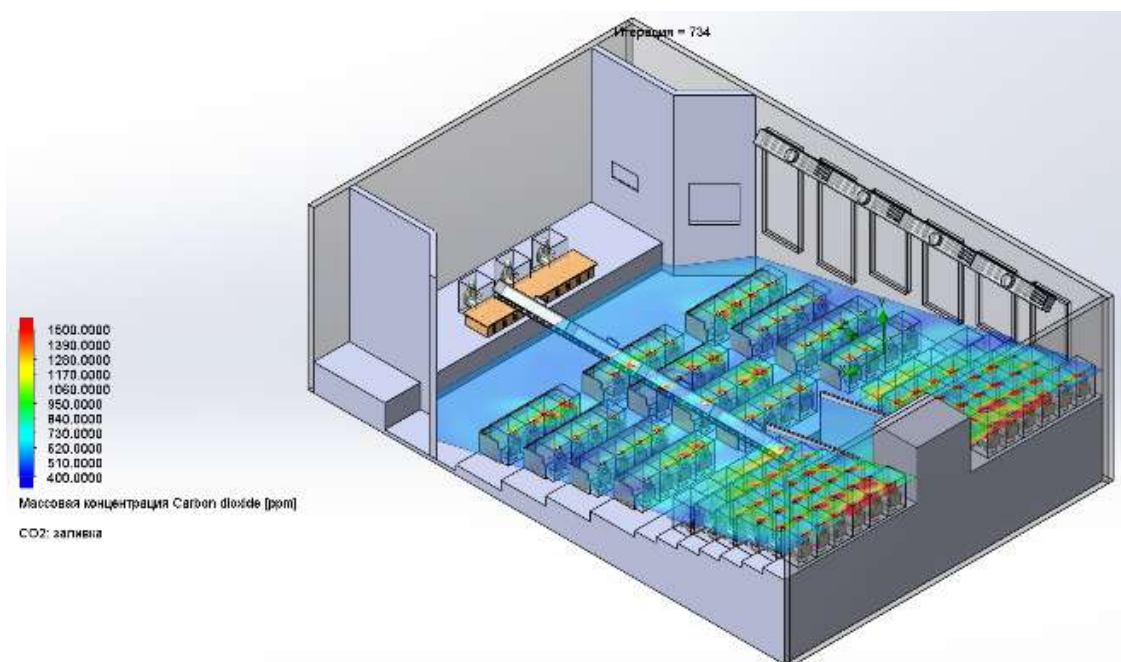


Рис. 11. Распределение параметра «концентрация CO₂» воздуха в эксплуатируемом объеме помещения

Сопоставление полученных численных значений концентраций углекислого газа в различных зонах помещения показывает их соответствие нормируемым параметрам (табл. 2).

Таблица 2

Значения концентрации CO₂ в различных зонах помещения на высоте 1,5 метра

Зона помещения	Концентрация CO ₂ , ppm	Соответствие качества воздуха ГОСТ 30494-2011
президиум	508	оптимальное
центр	597	оптимальное
левая трибуна	723	допустимое
правая трибуна	751	допустимое

Таким образом, в результате проведенного моделирования подобраны проектные решения воздухораспределительной части системы вентиляции, обеспечивающие нормируемые параметры микроклимата в эксплуатируемой зоне зала совещаний. Система сочетает современное оборудование, энергосберегающий режим с рециркуляцией по CO₂ и сохранение архитектурного облика помещения. Учтены эстетические, эксплуатационные особенности и ограничения по тепловой мощности.

Заключение.

Решена задача адаптации существующих архитектурных воздухораспределителей к новым условиям работы без нарушения эстетики помещения. Техническое решение заключается в установке в существующую конструкцию перфорированных пластин, обеспечивающих более равномерное распределение воздушных потоков в помещении.

Проведено численное моделирование, позволившее обосновать оптимальную геометрию перфорированных пластин и схему их расстановки для выравнивания поля скоростей. Показано, что модернизация внутреннего объема распределителя при сохранении внешних решеток обеспечивает нормируемые параметры подвижности воздуха и заданную концентрацию CO₂ в рабочей зоне.

Принятое проектное решение позволяет тиражировать его на другие объекты с повышенными требованиями к интерьеру (конференц-залы, кабинеты руководителей, кафе,

исторические здания), где требуется сохранить внутренний архитектурный облик при реконструкции систем вентиляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Лобанов, Д. В.** Системы вентиляции и кондиционирования воздуха в реконструируемых зданиях лечебно-профилактических учреждений / Д. В. Лобанов, И. С. Курасов, П. М. Гребенюк // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2024. – № 2(35). – С. 27-32.
2. **Лобанов, Д. В.** Вентиляция административных помещений в реконструируемом здании с ограниченной тепловой мощностью / Д. В. Лобанов, И. С. Курасов, С. А. Соловьев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2025. – № 2(39). – С. 31-36.
3. **Юланова, А. Ф.** Обзор современных средств компьютерного моделирования для расчета воздухораспределения помещений / А. Ф. Юланова, Е. М. Прыткова, А. В. Шаньгина // Экологическая безопасность и устойчивое развитие урбанизированных территорий : Сборник докладов III Международной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 17...19 мая 2022 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 117-121.
4. **Алямовский, А. А.** SolidWorks Simulation: как решать практические задачи / А. А. Алямовский. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2012. – 441, с.
5. **Кислов, К. В.** Разработка интеллектуальной системы управления вентиляцией с контролем качества воздуха / К. В. Кислов, А. А. Губанова, Д. Н. Веремеев // Молодой исследователь Дона. – 2021. – № 4(31). – С. 40-44.
6. **Радионон, Н. В.** Проблемы обогащения кислородом воздуха помещения и удаления из него углекислого газа / Н. В. Радионон, Н. И. Слугинова, Т. В. Клейменова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 4(68). – С. 293-299.
7. **Денисихина, Д. М.** Численное исследование закономерностей распределения CO₂ в общественных зданиях / Д. М. Денисихина // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 5. – С. 368-372.
8. **Чуйкин, С. В.** Исследование распределения воздуха в помещениях сложной конфигурации / С. В. Чуйкин, Е. В. Плаксина, К. А. Григорьева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 4(13). – С. 24-28.
9. **Уляшева, В. М.** Численное моделирование вентиляционных процессов в помещениях / В. М. Уляшева, Т. А. Дацюк, Е. А. Аншукова // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: Материалы XXII Международной научной конференции, Самарканд, 23...27 сентября 2024 года. – Волгоград: Волгоградский государственный медицинский университет, 2024. – С. 75-80.

Поступила в редакцию 26 апреля 2026

MODELING OF AIR DISTRIBUTION IN A PUBLIC BUILDING DURING RECONSTRUCTION TAKING INTO ACCOUNT ARCHITECTURAL CONSTRAINTS

S. V. Anosov, D. V. Lobanov, M. S. Kononova, P. M. Grebenyuk

Sergey Vasilyevich Anosov, Student of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: promvent36@yandex.ru
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

Marina Sergeevna Kononova, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-52-49; e-mail: kniga18@mail.ru
Pavel Mikhailovich Grebenyuk, Student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: galereja@mail.ru

In the article we analyze the problem of modernizing ventilation systems in rooms with high architectural and aesthetic requirements, where the priority is to preserve the historical appearance of the interior. The object is a meeting room that requires the renovation of engineering equipment without replacing existing decorative air distributors. The purpose of the work is to ensure the regulatory parameters of the microclimate by optimizing the internal design of air distribution devices. We present here the results of numerical modeling of aerodynamics in the SolidWorks software environment. We as well consider the options without changing the design of the air distributors and with the introduction of perforated plates. By iterative selection, the optimal number of plates and the diameter of the holes (10 mm) were determined, ensuring the uniformity of the air flow. Also, we analyzed the velocity fields and carbon dioxide concentrations in the serviced area. The results confirmed the compliance of the adopted design decision with the standards of air quality.

Keywords: air distribution; reconstruction of ventilation systems; architectural constraints; perforated plates; numerical modeling; air quality.

REFERENCES

1. **Lobanov D. V., Kurasov I. S., Grebenyuk P. M.** *Ventilation and air conditioning systems in reconstructed buildings of medical institutions*. Urban planning. Infrastructure. Communications. 2024. No. 2(35). Pp. 27-32. (in Russian)
2. **Lobanov D. V., Kurasov I. S., Soloviev S. A.** *Ventilation of administrative premises in a reconstructed building with limited thermal capacity*. Urban planning. Infrastructure. Communications. 2025. No. 2(39). Pp. 31-36. (in Russian)
3. **Yulanova A. F., Prytkova E. M., Shangina A. V.** *Review of modern computer modeling tools for calculating indoor air distribution*. Environmental safety and sustainable development of urbanized territories: Collection of reports of the III International Scientific and Practical Conference, Nizhny Novgorod, May 17...19, 2022. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering. 2023. Pp. 117-121. (in Russian)
4. **Alyamovsky A. A.** *SolidWorks Simulation: how to solve practical problems*. Saint Petersburg. BHV-Petersburg. 2012. 441 p. (in Russian)
5. **Kislov K. V., Gubanova A. A., Veremeev D. N.** *Development of an intelligent ventilation control system with air quality control*. Young Researcher of the Don. 2021. No. 4(31). Pp. 40-44. (in Russian)
6. **Radionov N. V., Slugin N. I., Kleimenova T. V.** *Problems of enriching indoor air with oxygen and removing carbon dioxide from it*. XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2024. Vol. 13. No. 4(68). Pp. 293-299. (in Russian)
7. **Denisikhina D. M.** *Numerical study of the patterns of CO₂ distribution in public buildings*. Innovations and investments. 2023. No. 5. Pp. 368-372. (in Russian)
8. **Chuikin S. V., Plaksina E. V., Grigorieva K. A.** *Investigation of air distribution in rooms of complex configuration*. Urban planning. Infrastructure. Communications. 2018. No. 4(13). Pp. 24-28. (in Russian)
9. **Ulyasheva V. M., Datsyuk T. A., Anshukova E. A.** *Numerical modeling of ventilation processes in rooms*. Indoor air and environmental quality: Proceedings of the XXII International Scientific Conference, Samarkand, September 23...27, 2024. Volgograd. Volgograd State Medical University. 2024. Pp. 75-80. (in Russian)

Received 26 April 2026

Для цитирования:

Моделирование воздухораспределения в помещении общественного здания при реконструкции с учетом архитектурных ограничений / С. В. Аносов, Д. В. Лобанов, М. С. Кононова, П. М. Гребенюк // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 2(37). – С. 74-84. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.008.

For citation:

Anosov S. V., Lobanov D. V., Kononova M. S., Grebenyuk P. M. *Modeling of air distribution in a public building during reconstruction taking into account architectural constraints.* Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 2(37). Pp. 74-84. DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.008. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.009

УДК 628.16

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В БУРУНДИ

Дьедонне Нийонкуру, В. И. Щербаков

Нийонкуру Дьедонне, аспирант кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(996)824-25-39; e-mail: dieudoniyo4@gmail.com

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

Выполнен анализ методов очистки питьевой воды, используемых в республике Бурунди. Приведено описание технологических процессов очистки воды из различных природных источников. Представлены результаты анализа работы очистных сооружений воды из озера Танганьика, основанных на методе медленной песчаной фильтрации. Показано, что очищенная таким способом вода соответствует стандартам ВОЗ, которых придерживается Бурунди. Приведены результаты анализа очистки речной воды методом быстрой фильтрации, установлено, что качество очистки не соответствует стандартам питьевой воды из-за высокой мутности и высокой концентрации остаточного хлора, сохраняющегося после обработки. Выявлена основная проблема: засорение фильтров, вызванное высокой концентрацией органических веществ и взвешенных частиц, которое происходит в сезон дождей. Приведено описание структуры водоснабжения сельских районов и имеющихся в этой структуре проблем. Поскольку в сельских районах большая часть питьевой воды поступает из природных источников, общественных водоразборных колонок и грунтовых вод из колодцев, хлорирование является единственным методом, используемым на водозаборах выше по течению, и регулярный мониторинг качества воды не проводится.

Ключевые слова: методы очистки; питьевой воды; медленная фильтрация; физико-химический анализ; качества воды.

Безопасное и удобное водоснабжение имеет первостепенное значение для здоровья человека и благополучия общества в целом. Водоснабжение для хозяйственно-бытовых нужд характеризуется соответствующими стандартами качества воды, наличием и надёжностью системы водоснабжения [1, 2].

Централизованный водопровод должен иметь очистные сооружения воды для удаления нежелательных химических веществ, биологических загрязнителей, взвешенных частиц и газов, загрязняющих пресную воду. В результате процесса очистки необходимо получить питьевую воду, пригодную для хозяйственных целей [3...5].

Современные технологии очистки поверхностных вод в основном основаны на механических, физико-химических и биологических методах. Загрязнение питьевой воды происходит в основном из-за остатков пестицидов, нитратов, тяжелых металлов (свинца) и т. д. Эти вещества, поступающие из сельского хозяйства, промышленности и бытовых источников, представляют угрозу для здоровья человека [6, 7].

Объектом исследования является система водоснабжения населенных пунктов республики Бурунди. Площадь Бурунди составляет 27 834 км², из которых 2180 км² приходится на водную поверхность. Главное озеро – Танганьика, которое находится на территории Танзании, Конго и Замбии. На северо-востоке страны есть множество других озер: Рвихинда, Кохоха, Канзигири, Рверу и Гакамиринди. На северо-западе страны есть не-

большое озеро Догодого, Основные реки – Русизи, образующая границу с Конго и впадающая в озеро Танганьика, Малагарази и Рувубу.

По данным всеобщей переписи населения и жилищного фонда 2024 года, население Бурунди составляет 12 332 788 человек, из них 9 255 195 человек или 75,5 %, – сельское и 3 077 593 человека, или 24,5 % – городское. Население Бужумбура, столицы страны составляет 1,2 миллиона человек, что составляет 9,7% от общей численности населения Бурунди. Другими крупными городами являются Гитега, Нгози, Румонге, Муйинга, Макамба и Каянза, в которых проживает 14 % общей численности населения.

В Бурунди процент населения, имеющего доступ к питьевой воде в пределах 30-минутной пешей доступности (туда и обратно), составляет 85 % в городских районах и 60 % в сельской местности.¹

Что касается водоснабжения в сельской местности, то лишь около 40% домохозяйств получают питьевую воду в радиусе 2...3 км от своего дома. В городских районах 42,6 % домохозяйств подключены к городскому водопроводу, в то время как в сельских районах этот показатель составляет 1,2 %.

В сельской местности 81 % населения получают питьевую воду из: благоустроенных родников, водоразборных колонок, колодцев, а 19 % используют воду из рек и озер без очистки.²

Методы очистки питьевой воды из озера Танганьика

Для очистки воды из озера Танганьика построены очистные сооружения с медленными песчаными фильтрами – это метод очистки, при котором очищаемая вода проходит через пористый слой фильтрующего материала. В процессе фильтрации качество воды значительно улучшается за счёт снижения количества микроорганизмов (бактерий, вирусов, цист), удаления взвешенных и коллоидных веществ, а также изменения её химического состава [5].

Вода забирается из озера на расстоянии 3,5 км и глубине 25 м, как наиболее чистая. Из водозаборного сооружения вода поступает самотеком по двум 900-миллиметровым трубам, с установленными сетчатыми фильтрами для предотвращения попадания грубых частиц, на насосную станцию SP1, размещенную на берегу озера (рис. 1). Насосная станция подает воду на очистные сооружения, включающие 12 медленных фильтров, каждый площадью 1325 м² (рис. 2).

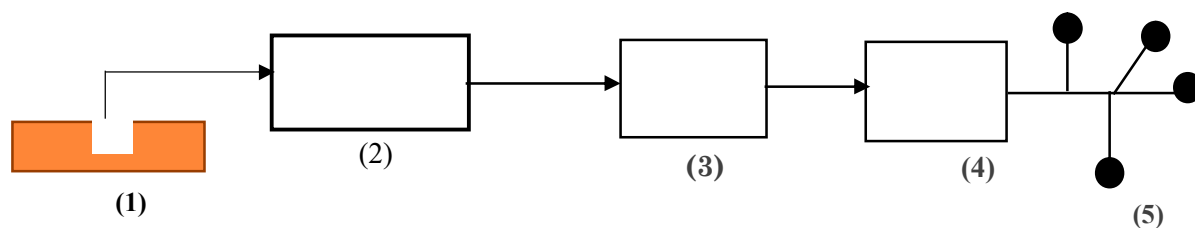


Рис. 1. Принципиальная схема очистных сооружений озерной воды:

1 – водозаборные сооружения; 2 – медленные песчаные фильтры; 3 – дезинфекция - хлорирование воды; 4 – резервуар чистой воды; 5 – водопроводная сеть

Медленная фильтрация, предусмотренная для данной установки, представляет собой метод, который заключается в прохождении исходной воды через слой фильтрующего материала со скоростью 0,2 м/час. В качестве фильтрующего материала используется песок. В процессе фильтрации качество воды значительно улучшается за счет снижения количества взвешенных веществ и микроорганизмов (бактерий, вирусов и т.д.). Медленная песчаная фильтрация предполагает пропускание неочищенной воды через слой песка. В ходе

¹ Republic of Burundi. Burundi Vision an Emerging Country by 2040 and a Developed Country by 2060, Bujumbura, Burundi, 2023

² UNICEF, Water, Hygiene, sanitation. Budget analysis 2023-2024, Bujumbura, Burundi 2025. p. 3

этого процесса твердые частицы примесей контактируют с поверхностью песчаных зерен и прикрепляются к ним. Инертные частицы задерживаются до их удаления в процессе очистки, в то время как частицы, подверженные химической или биологической деградации, преобразуются в более простые формы, которые либо уносятся раствором, либо остаются вместе с инертными частицами для последующего удаления.



Рис. 2. Устройство для подачи воды на медленные фильтры (а) и отведения очищенной воды б)

На поверхности фильтра образуется тонкий слой, называемый «биологической мембраной». Этот тонкий поверхностный слой имеет важное значение, так как именно в нем происходит процесс биологической очистки

Схема очистных сооружений с медленной фильтрацией через слой песка состоит из резервуаров, позволяющих принимать слой сырой воды толщиной 1,20 м, фильтрующего слоя из песка разной крупности, резервуаров чистой воды и насосных станций второго подъема (рис. 3, 4).

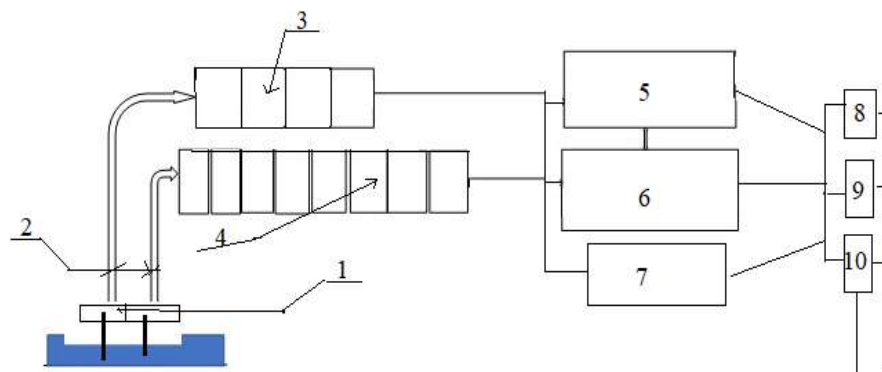


Рис. 3. Схема сооружений очистки воды из источника озера Танганьика:

- 1 – насосная станция первого подъема (НС-1); 2 – водовод;
 3 – очистные сооружения (ОС, 21000 м³/сут.); 4 – очистные сооружения (ОС, 118 000 м³/сут.);
 5 – резервуар чистой воды 3 500 м³ (РЧВ); 6 – резервуар чистой воды 2 000 м³ (РЧВ);
 7 – резервуар чистой воды 700 м³ (РЧВ); 8, 9, 10 – насосная станция второго подъема (НС-2)

Основная роль слоя воды над поверхностью загрузки заключается в поддержании достаточной нагрузки для прохождения сырой воды через фильтрующий слой с необходимой скоростью (0,2 м/час). Кроме того, она обеспечивает время удержания обрабатываемой воды в течение нескольких часов.

В качестве фильтрующего слоя используется песок с размером зерен 0,35 мм. Для надлежащего функционирования процесса очистки необходим фильтрующий слой высо-

той не менее 0,6 м. На данной очистной станции толщина песчаного слоя составляет 0,8 м. Толщина гравийного слоя составляет 0,75 м (рис. 4).

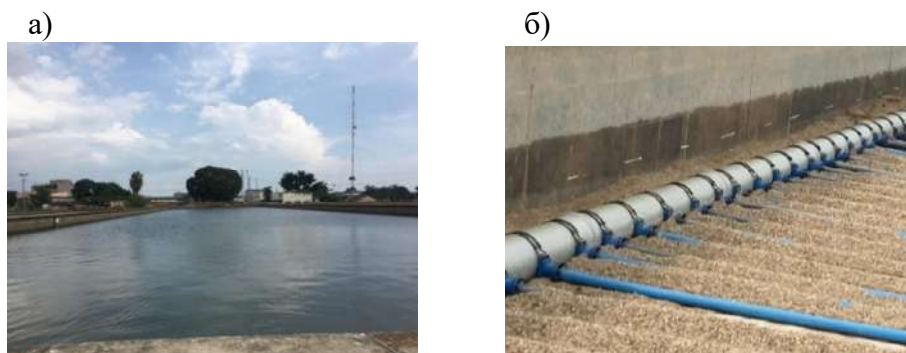


Рис. 4. Общий вид бассейна со слоем сырой воды (а) и фильтрующий слой с дренажными трубами (б)

Метод медленной очистки на песчаных фильтрах является наиболее экономичным и имеет преимущества в виде высокой эффективности и простоты в эксплуатации. Таким образом, этот метод отвечает потребностям улучшения качества воды, подаваемой населению [8,9]. Метод очистки воды на медленных фильтрах позволяет одновременно улучшить физические, химические и бактериологические качества сырой воды

Физико-химический анализ параметров воды проводился в мае 2025 года в лаборатории REGIDESO (организация, отвечающая за распределение питьевой воды и электроэнергии в Бурунди). В Бурунди еще не установлены собственные стандарты качества питьевой воды, и в настоящее время Бурунди использует стандарты качества ВОЗ (табл. 1).

Таблица 1

Качество воды озера Танганьика до и после очистки

Наименование параметра	Ед. измерения	сырая вода	фильтрованная вода	хлорированная вода	Стандарты ГОСТ СанПиН 2.1.4.10749-01	Стандарты ВОЗ
Температура	°C	26,00	26,00	26,00	не нормируется	
Водородный показатель pH		9,01	9,00	9,00	6...9	
Растворенный кислород O ₂	мг/ дм ³	6 - 8	6...8	6,00		5-8
Мутность	ЕМФ	0,82	0,00	0,00	2	<5
Электрическая проводимость	μS/CM	642,00	639,00	639,00		1500
Хлориды Cl ⁻	мг/ дм ³	26,00	25,00	25,00	350	250
Общее железо Fe ^{2/3+}	мг/ дм ³	0,01	0,001	0,018	0,3	0,3
Марганец Mn ²⁺	мг/ дм ³	1,02	0,00	0,00	0,1	0,1
Сульфаты SO ₄ ²⁻	мг/ дм ³	5,00	5,00	5,00	500	400
Нитраты NO ₃ ⁻	мг/ дм ³	0,01	0,00	0,00	45	45
Нитриты NO ₂ ⁻ /	мг/ дм ³	0,007	0,00	0,00	3,3	0,90
Азот аммонийный N-NH ₄ ⁺	мг/ дм ³	0,007	0,00	0,00	1,5	0,50
Общие фосфаты PO ₄ ³⁻	мг/ дм ³	1,000	1,00	1,00	3,5	2,20
Orthophosphates PO ₄ ³⁻	мг/ дм ³	0,00	0,00	0,00		0,07
Хлор свободный	мг/ дм ³	0,00	0,00	0,2...0,5	0,3...0,5	0,2...0,5
Радиоактивность	μSv	0,00	0,00	0,00	0,1	
H ₂ S	мг/ дм ³	0,00	0,00	0,00	0,003	0

Окончание табл. 1

Наименование параметра	Ед. измерения	сырая вода	фильтрованная вода	хлорированная вода	Стандарты ГОСТ СанПиН 2.1.4.10749-01	Стандарты ВОЗ
Натрий Na^+	мг/ дм ³	63,00	62,00	62,00	200	200
Калий K^+	мг/ дм ³	34,00			20	50
Кальций (Ca^{2+})	мг/ дм ³	13,00		10	25...30	150
Магний	мг/ дм ³	39,00		40	50	100
Свинец	мг/ дм ³	0,00018			0.03	0,01
Кадмий Cd	мг/ дм ³	0,00005		<0,00005	0.001	0,003
Цинк (Zn^{2+})	мг/ дм ³	1,30		0,001	5	5
Аллюминий	мг/ дм ³	0,040		0,057	0,5	0,2
Бактериология						
Общее микробное число	кол. / 1 мл	1200	203	0	Не более 50	50
Общие колиформные бактерии	кол. /100мл	21	3	0	Отсутствие	0
E.Coli	кол. /100мл	7	2	0	Отсутствие	0

Анализ качества озерной воды показывает, что после фильтрационной очистки и хлорирования содержание марганца, калия, общего микробного числа, колиформных бактерий и палочки Coli снижается практически до нуля, что соответствует нормативам ВОЗ, применяемым в Бурунди.

Сооружения для очистки воды из озера Танганьика, являются основными элементами водопровода города Бужумбура. Очищенная озерная вода обычно соответствует стандартам на питьевую воду, однако в сезон дождей серьезной проблемой становится засорение фильтров, что объясняется высоким содержанием органических веществ и взвешенных твердых частиц, поступающих в воду с осадками. Для минимизации проблемы засорения фильтров были предложены два варианта: аэрация исходной воды и минеральное подкисление воды с использованием соляной кислоты.

Очистка речной воды

Обработка речной воды с целью ее пригодности для питья, хозяйственных и производственных целей представляет собой комплекс физических, химических и биологических методов изменения ее первоначального состава [10...11].

Целью очистных сооружений для очистки речной воды является ее фильтрация и дезинфекция.

Процесс очистки воды можно подразделить на несколько этапов (рис. 5):

- ✓ предварительная обработка, вблизи водозабора на песколовке и сите, для удаления крупных механических примесей, песка, глины и других частиц;
- ✓ после предварительной обработки в воду вводится коагулянт (сульфат алюминия) для агломерации мелких частиц и образования хлопьев. Доза сульфата алюминия колеблется от 25 г/м³ до 45 г/м³ в течение года. В сезон дождей речная вода содержит большое количество взвешенных частиц, что приводит к высокому содержанию растворенного железа, поэтому требуется увеличенная доза коагулянта;
- ✓ образовавшиеся хлопья оседают на дно отстойника;
- ✓ осветленная вода подается на песчаные фильтры с общей площадью фильтрующей поверхности 120 м² и толщиной слоя песка 0,95 м. При среднем расходе 170 м³/ч скорость фильтрации составляет 1,4 м/ч.
- ✓ дезинфекция для уничтожения бактерий, вирусов и других микроорганизмов производится гипохлоритом кальция в резервуарах с фильтрованной водой;
- ✓ перед подачей в распределительную сеть качество питьевой воды проверяется в лаборатории ежедневно.



Рис. 5. Этапы очистки сырой речной воды:

1 – подача неочищенной воды и аэрация; 2 – осаждение крупных примесей;
3 – подача коагулянта $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, флокуляция; 4 – осаждение мелких примесей; 5 – фильтрация;
6 – дезинфекция

Анализ физико-химических параметров воды был проведен в 2024 году в лаборатории REGIDESO. Результаты исследований по очистке воды представлены в табл. 2, где показаны средние результаты физико-химических показателей, полученных до и после очистки воды.

Таблица 2

Результаты очистки речной воды

Наименование параметра	Ед. измерения	Значение параметра		
		неочищенная вода	После очистки	СанПиН 2.1.4.10749-01
Т	°C	27,1	26,1	-
pH	-	7,6	7,24	6...9
электрической проводимость	$\mu\text{S}/\text{CM}$	122,16	104,3	-
мутность	ЕМФ	38,16	4,2	2
остаточный хлор	кол. /100мл	-	0.9	0,3...0,5
общие колиформы бактерии	кол. /100мл	77	0	Отсутствие
E. coli	кол. /100мл	61	0	Отсутствие

Очистные сооружения речной воды принимают и обрабатывают воду с высокой концентрацией взвешенных твердых частиц, что приводит к повышению мутности. Поэтому такая вода требует более сложной очистки, чем та, которая применяется на очистных сооружениях озерной воды. Процесс очистки требует высокого расхода $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ для коагуляции взвешенных частиц, включая железо. Тем не менее, после очистки наблюдается высокая мутность и остаточный уровень хлора, превышающий стандарты на питьевую воду. Это, вероятно, связано с недостаточной эффективной фильтрацией и высоким содержанием примесей [9].

В результате натурных исследований по очистке озерной и речной воды можно сделать заключение об эффективности применяемых технологий очистки воды (табл. 3).

Таблица 3

Состав сооружений для очистки озерной и речной воды

Этапы очистки	Очистные сооружения для озерной воды	Очистные сооружения для речной воды
Осаждение песка (пескоотстойники и сетки),	Нет	Да
Флокуляция	Нет	Да
Декантация	Нет	Да
Типы фильтров	Медленные песчаные фильтры	Быстрые фильтры
Дезинфекция	Гипохлорит кальция $\text{Ca}(\text{ClO})_2$	Гипохлорит кальция $\text{Ca}(\text{ClO})_2$
Типы наблюдаемых проблем	Засорение фильтра	Требуется высокое потребление $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
Причины наблюдаемых проблем	Чрезмерная концентрация CaCO_3	Чрезмерная концентрация взвешенных твердых частиц

Использование родников для водоснабжения в сельской местности

В сельской местности использование родников является наиболее распространенным видом водоснабжения. Рассредоточенность населенных пунктов, пересеченная местность и высокий потенциал подземных природных источников способствовали распространению этого метода. Таким образом, с 1999 года по всей стране насчитывается около 22280 родников, что составляет более 78 % от общего объема водоснабжения сельских районов.

Средний расход воды в родниках составляет 0,2 литра в секунду. При суточном расходе 20 литров на человека один источник может обеспечить водой 46 домохозяйств. По качеству родниковой воды, удовлетворяющей требованиям ВОЗ, очистки её не требуется.

Общественные водоразборные колонки из подземных источников являются вторым по распространенности видом поставки воды в сельской местности. Вода из скважин подается в резервуары водонапорных башен, откуда по распределительной сети поступает к водоразборным колонкам. Всего насчитывается 370 водозаборных скважин, расположенных исключительно в низинных районах северного и восточного Бурунди, что составляют лишь около 2 % от общего объема водоснабжения. Регулярный мониторинг качества воды не проводится. Вода из скважин часто содержит железо, для удаления которого используется хлорид натрия (NaCl).

Заключение.

Проведен анализ источников воды, используемых для водоснабжения в Республике Бурунди, установлены основные типы применяемых источников и технологии очистки, применяемые для каждого вида источников. Отмечено наличие дефицита качественной воды в отдельных районах, преимущественно в сельской местности.

Анализ качества воды, подаваемой на водоснабжение из озера Танганьика, показал её соответствие санитарным нормам, что свидетельствует об эффективности применяемого метода медленной очистки на песчаных фильтрах.

Показано, что используемые методы очистки речной воды не обеспечивают нормируемое качество, после обработки сохраняется высокая мутность и остаточная концентрация хлора.

В структуре водоснабжения сельских районов выявлены проблемы, связанные в основном с дефицитом воды, при этом её качество удовлетворительное, так как в основном используется родниковая вода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Markenlaan J. C. V** Slow Sand Filtration for Community Water Supply in Developing Countries / J. C. V/ Markenlaan // International Appraisal Meeting held in Nagpur, India, September. – 1980. – Pp. 15-19.
2. **Щербаков, В. И.** Городской водопровод / Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. – 2000. – 240с.
3. **Нсенгийумва, Ж. П.** Проблемы существующей системы водоснабжения столицы Бурунди г. Бужумбура / Ж. П. Нсенгийумва, В. И. Щербаков // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 43-50.
4. **Bullock, M. A.** Study on the sectoral policy on water use and health / M. A. Bullock, C. Niyonkuru // USAID Burundi Policy Reform Project, Bujumbura, Burundi, 2009. – Pp. 17.
5. **Кульский, Л. А.** Теоретические основы и технология кондиционирования воды / Л. А. Кульский. – Киев: Наукова думка, 1980. – 563 с.
6. **Аль-Амри, З. С. А.** Расчёт основных узлов и вспомогательных устройств установки приготовления питьевой воды / З. С. А. Аль-Амри, В. И. Щербаков // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2021»: материалы XIII Международной научно-практической конференции. Новочеркасск, 2021. – С. 156-166.
7. Биогенное загрязнение водных объектов и возможности устранения последствий / В. И. Щербаков, Н. В. Кузнецова, Т. В. Щукина, Р. С. Шевченко // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 4(34). – С. 66-69.
8. **Щербаков, В. И.** Разработка технологий подготовки питьевой воды для централизованного водоснабжения: учебное пособие / В. И. Щербаков, Аль-Амри Заед. – Воронеж: Цифровая типография, 2019. – 140 с.
9. К вопросу оценки качества питьевой воды систем централизованного водоснабжения в современных условиях / Ю. А. Новикова, К. Б. Фридман, В. Н. Федоров, А. А. Ковшов, Н. А. Тихонова, И. О. Мясников // Гигиена и санитария. – 2020. – № 99(6). – С. 563-568. – <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-6-563-568>
10. **Николадзе, Г. И.** Технология очистки природных вод: учебник для вузов / Г. И. Николадзе. – Москва: Высшая школа. – 1987. – 479 с.
11. **Горбачев, Е. А.** Проектирование очистных сооружений водопровода из поверхностных источников: учебное пособие / Е. А. Горбачев. – Москва: АСВ, 2004. – 240 с.

Поступила в редакцию 14 марта 2026

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF DRINKING WATER TREATMENT METHODS IN BURUNDI

Dieudonne Niyonkuru, V. I. Shcherbakov

Dieudonne Niyonkuru, Post graduate student of the Department of Housing and communal infrastructure, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(996)824-25-39; e-mail: dieudoniyo4@gmail.com
Vladimir Ivanovich Shcherbakov, Dr. Sc. (Tech.), Professor, Professor of the Department of Housing and communal infrastructure, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(980)345-99-00; e-mail: vshcherbakov@cchgeu.ru

This article analyzes drinking water purification methods used in the Republic of Burundi. It describes the technological processes for purifying water from various natural sources. It presents the results of an analysis of the performance of a Lake Tanganyika water treatment plant using the slow sand filtration method. It is demonstrated that water purified by this method complies with the WHO standards adhered to by Burundi. The results of an analysis of river water purification using the rapid filtration method are presented. It was found that

the quality of treatment does not meet drinking water standards due to high turbidity and a high concentration of residual chlorine remaining after treatment. The main problem is identified: filter clogging caused by high concentrations of organic matter and suspended particles, which occurs during the rainy season. A description of the rural water supply structure and the problems within this structure is provided. Since most drinking water in rural areas comes from natural sources, public standpipes, and groundwater from wells, chlorination is the only method used at upstream water intakes, and regular water quality monitoring is not conducted.

Keywords: purification methods; drinking water; slow sand filtration; physicochemical analysis; water quality.

REFERENCES

1. **Markenlaan J. C. V** *Slow Sand Filtration for Community Water Supply in Developing Countries*. International Appraisal Meeting held in Nagpur. India. 1980. Pp. 15-19.
2. **Shcherbakov V. I.** *City water supply*. Voronezh, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. 2000. 240 p. (in Russian)
3. **Nsengiyumva J. P., Shcherbakov V. I.** *Problems of the existing water supply system of the capital of Burundi, Bujumbura*. Housing and communal infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 43-50. (in Russian)
4. **Bullock M. A., Niyonkuru C.** *Study on the sectoral policy on water use and health*. USAID Burundi Policy Reform Project, Bujumbura, Burundi. 2009. Pp. 17.
5. **Kulsky L. A.** *Theoretical foundations and technology of water conditioning*. Kiev, Naukova dumka. 1980. 563 p. (in Russian)
6. **Al-Amri Z. S. A., Shcherbakov V. I.** *Calculation of the main units and auxiliary devices of a drinking water preparation plan*. Water Treatment Technologies "TEKHNOVOD-2021". Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference. Novocherkassk. 2021. p. 156-166. (in Russian)
7. **Shcherbakov V. I., Kuznetsova N. V., Shchukina T. V., Shevchenko R. S.** *Biogenic Pollution of Water Bodies and Possibility of Eliminating the Consequences*. Caspian Engineering and Construction Bulletin. 2020. No. 4(34). Pp. 66-69. (in Russian)
8. **Shcherbakov V. I., Al-Amri Zayed.** *Development of Drinking Water Treatment Technologies for Centralized Water Supply*. Voronezh "Digital Typography». 2019. 140 p. (in Russian)
9. **Novikova Yu. A., Friedman K. B., Fedorov V. N., Kovshov A. A., Tikhonova N. A., Myasnikov I.O.** *About the question of the assessment of the drinking water quality in centralized water systems in the current conditions*. Hygiene and Sanitation. 2020. No. 99(6). Pp. 563-568. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-6-563-568>(in Russian)
10. **Nikoladze G. I.** *Technology of natural water purification*. Education for universities. Moscow. High school. 1987. 479 p. (in Russian)
11. **Gorbachev E. A.** *Design of treatment facilities for water supply from surface sources: a tutorial*. ASV. 2004. 240 p. (in Russian)

Received 14 March 2026

Для цитирования:

Нийонкуру, Д. Оценка эффективности методов очистки питьевой воды в Бурунди / Дьедонне Нийонкуру, В. И. Щербаков // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 2(37). – С. 85-93. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.009.

For citation:

Niyonkuru Dieudonne, Shcherbakov V. I. *Evaluation of the efficiency of drinking water treatment methods in Burundi*. Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 2(37). Pp. 85-93. DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.009. (in Russian)

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ,
РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО**

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

DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.010

УДК 711.4.001

**ИНДЕКС ИНФОРМАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА КАК ОСНОВА ОЦЕНКИ
РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ
ВОКЗАЛАМ И СТАНЦИЯМ Г. ВОРОНЕЖА**

М. В. Максимова, А. С. Танкеев

Максимова Мария Владиславовна, магистрант кафедры градостроительства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)236-55-67; e-mail: a.kot.1499@mail.ru

Танкеев Александр Семенович, канд. архитектуры, доцент кафедры градостроительства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)236-55-67; e-mail: ast1111@yandex.ru

Предложен методический подход к анализу информационного потенциала городской территории на примере города Воронежа. Особое внимание уделено прилегающим территориям к железнодорожным вокзалам и к железнодорожным станциям. В работе изучается влияние транспортно-пересадочных узлов на формирование городской среды. Использовалось построение карт информационных потоков, с разбиением исследуемой территории на отдельные ячейки. Представлены результаты распределения объектов городской инфраструктуры вокруг основных транспортных узлов г. Воронежа. Предложена классификация территорий, базирующаяся на выявленных критериях. Выделены три категории плотности застройки (низкая, средняя, высокая). Представленные данные ориентируют на понимание взаимосвязи качества городской среды и транспортными коммуникациями, предлагая конкретные инструменты для обоснования градостроительных решений.

Ключевые слова: информационный потенциал; планировочная решетка; транспортные узлы; городская среда; плотность застройки; инфраструктурная оценка; транспортная доступность.

Актуальность темы формируется необходимостью реагирования на современные требования развития городов, обусловленные изменениями демографической ситуации, ростом миграционных потоков и повышением требований к качеству городской среды. Недостаточное понимание взаимосвязи компонентов городской инфраструктуры и поведения населения препятствует принятию эффективных градостроительных решений.

Решение данной проблемы возможно путём внедрения научно-обоснованного подхода к анализу и оценке информационных потоков вокруг транспортных узлов. Настоящее исследование направлено на создание комплексной методики оценки информационного потенциала территорий, удобной для широкого применения в практике управления городским развитием.

Теоретической основой служат положения современной урбанистики и градостроительства, подчеркивающие взаимовлияние транспортной доступности и качества среды обитания [1, 2, 3], а также принципы информационного описания градостроительных объектов [4]. Применение современных методов градостроительного анализа позволяет существенно повысить точность и обоснованность принимаемых решений [5].

Цель настоящей работы – исследовать информационное пространство в границах г. Воронеж, прилегающих к железнодорожным вокзалам и станциям, выявить зоны с наиболее высоким градостроительным потенциалом и разработать рекомендации для дальнейшего развития территорий.

Теоретико-методологические основы и материалы исследования

Методика исследования основана на двух основных аспектах:

- ✓ количественный анализ концентрации объектов в заданных координатах пространства;
- ✓ качественная интерпретация полученных данных применительно к особенностям конкретной территории.

В качестве метода анализа использовалось построение карт информационных потоков, что позволило отследить динамику плотности объектов и выявить зоны повышенной концентрации внимания. Введена метрика «информационный индекс территории», рассчитываемой на базе количественных данных и отражающей готовность территории к активному развитию.

Предлагается использовать систему планировочной решетки с размерами ячейки 500 × 500 метров, охватывающей всю территорию города. Данный масштаб оптимален для выявления плотности и распространённости инфраструктурных объектов [6].

Классификация объектов инфраструктуры: жилая застройка, социальная инфраструктура (образовательные, медицинские, дошкольные учреждения), транспортные коммуникации (вокзальные комплексы, автостанции, улично-дорожная сеть, парковки, остановки ОТ), иные элементы (торговые объекты, административные здания).

Источники данных: географические карты и планы города, схема планировочной решётки территории, данные OpenStreetMap (OSM) о плотности населения и объектах инфраструктуры [7].

Алгоритм исследования:

- ✓ разделение планировочной решётки на ячейки размером 500 × 500 м с присвоением уникальных номеров;
- ✓ классификация объектов инфраструктуры по уровням информативности территории (например: жилая застройка) (рис. 1);
- ✓ расчёт индивидуального вклада каждого класса объектов в суммарный индекс;
- ✓ формирование карт концентрации различных инфраструктурных объектов.
- ✓ проведение интегративного анализа данных для построения единой схемы общего информационного потенциала.

Пример результатов представлен на схеме концентрации объектов (рис. 1, 2), иллюстрирующей разницу между планировочными районами города и его окраинами. Данная информация рекомендована для разработки региональной политики и документов стратегического планирования.

В результате проведённого анализа были получены следующие результаты:

- ✓ максимальная концентрация объектов фиксируется в центральной части города и вдоль основных магистралей, где сосредоточено наибольшее количество социальных объектов и жилых комплексов;
- ✓ периферийные зоны, несмотря на фиксируемый прирост населения, испытывают дефицит социальной инфраструктуры;
- ✓ территории, прилегающие к железнодорожным узлам, характеризуются более высокой концентрацией объектов по сравнению с зонами автобусных терминалов. Наибольшие концентрации жилой застройки и социальных объектов наблюдаются вокруг узлов: Воронеж-1, Воронеж-Курский, ст. Отрожка, ст. Обручева, Воронеж-Южный (ст. Придача) [8, 9].

Анализ информационного потенциала территорий вокруг железнодорожных узлов

Классификация территорий выполнена на основе средней плотности жилой застройки в радиусе 1,5...2 км от каждого транспортного узла (рис. 3) [10].

*Фрагмент карты г.Воронеж:

Микрорайон-эксклав Краснолестный, Железнодорожный р-н

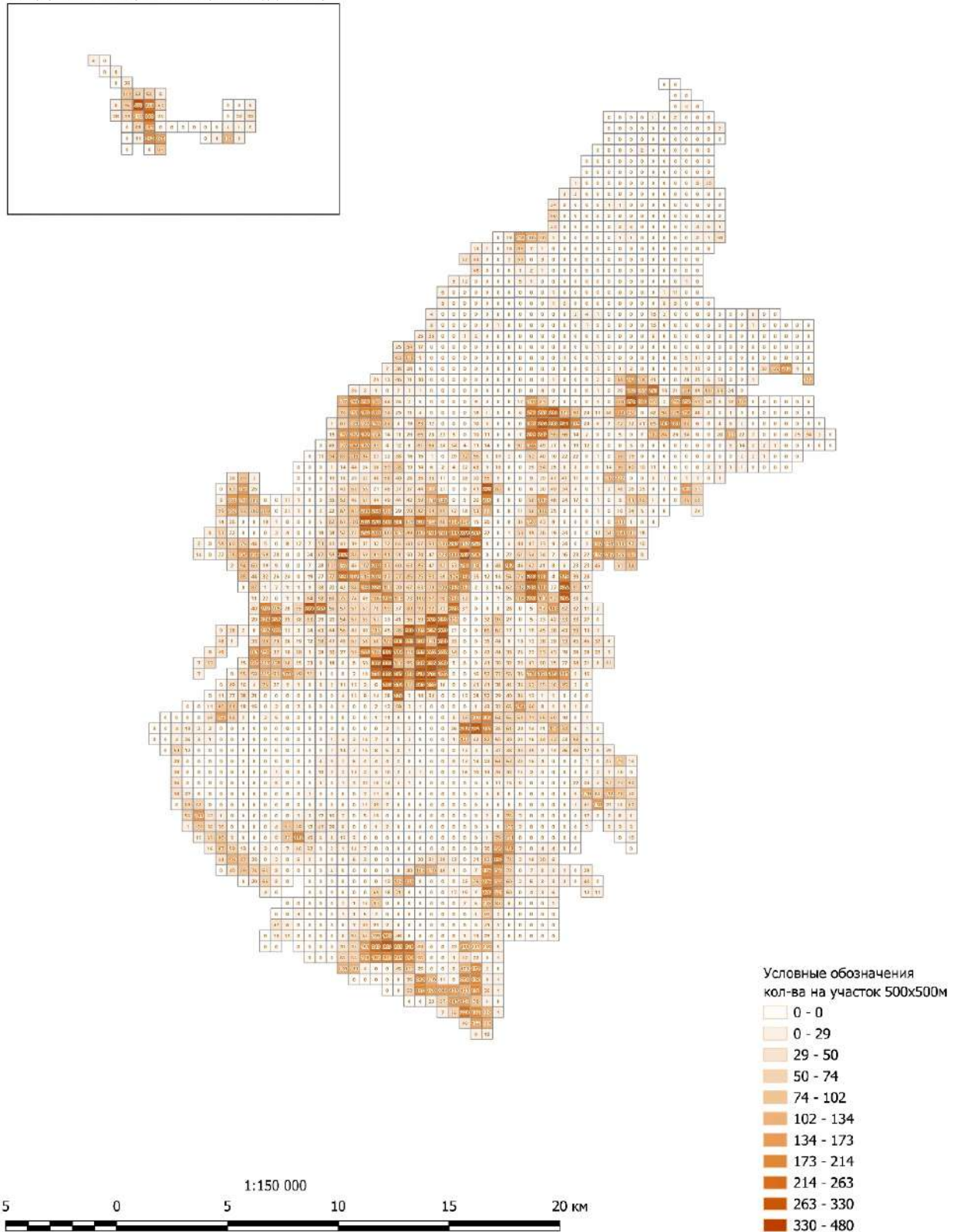


Рис. 1. Схема расположения жилой застройки на территории г. Воронеж

*Фрагмент карты г.Воронеж:

Микрорайон-эксклав Краснолестный, Железнодорожный р-н

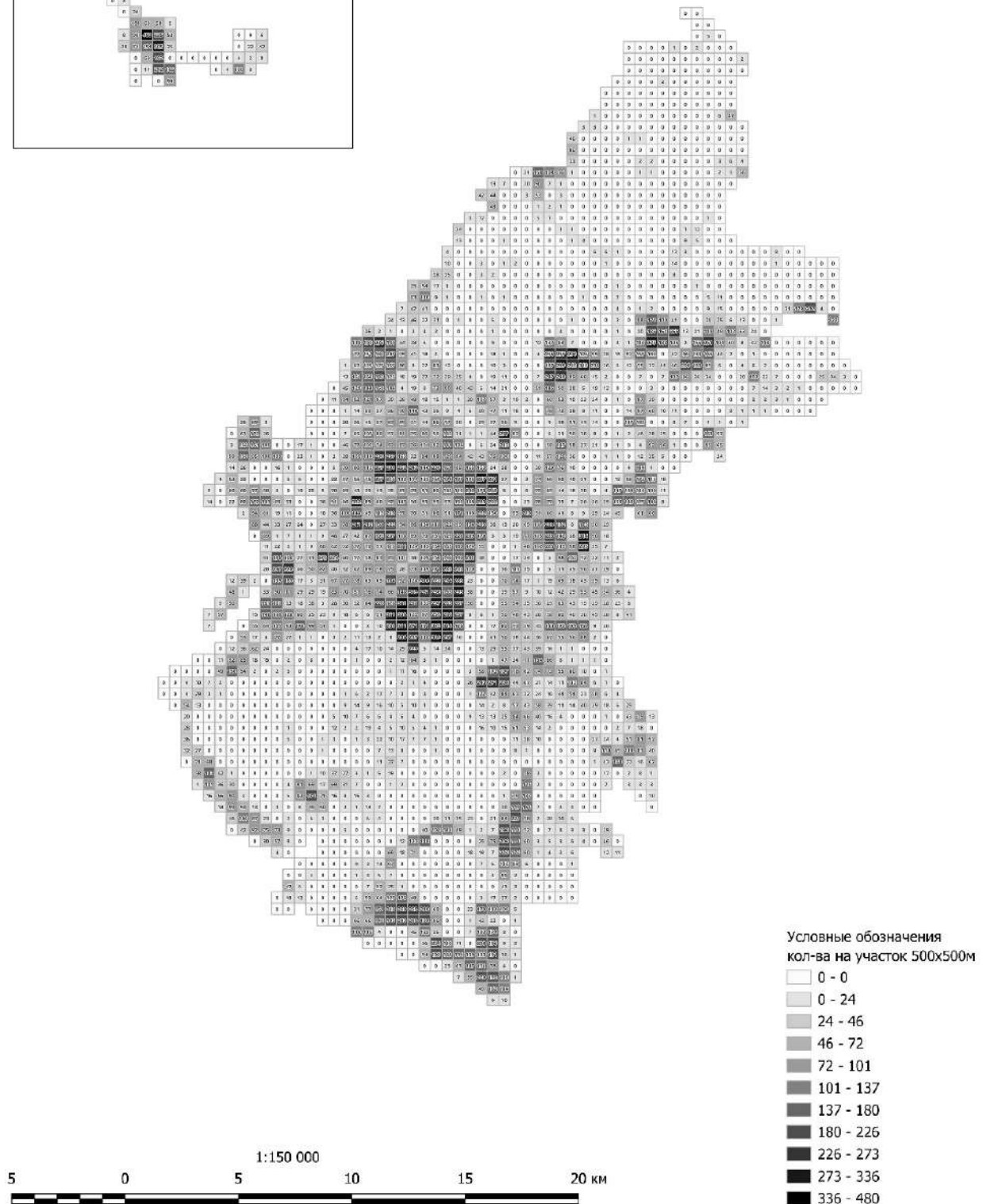
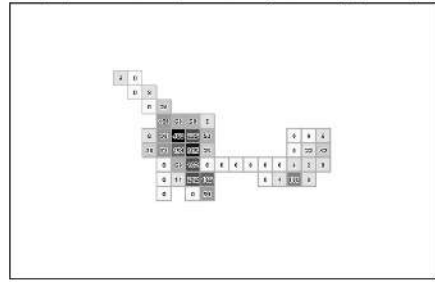


Рис. 2. Общая схема расположения объектов градостроительной инфраструктуры на территории г. Воронеж

*Фрагмент карты г.Воронеж:

Микрорайон-экслав Краснотелный, Железнодорожный р-н

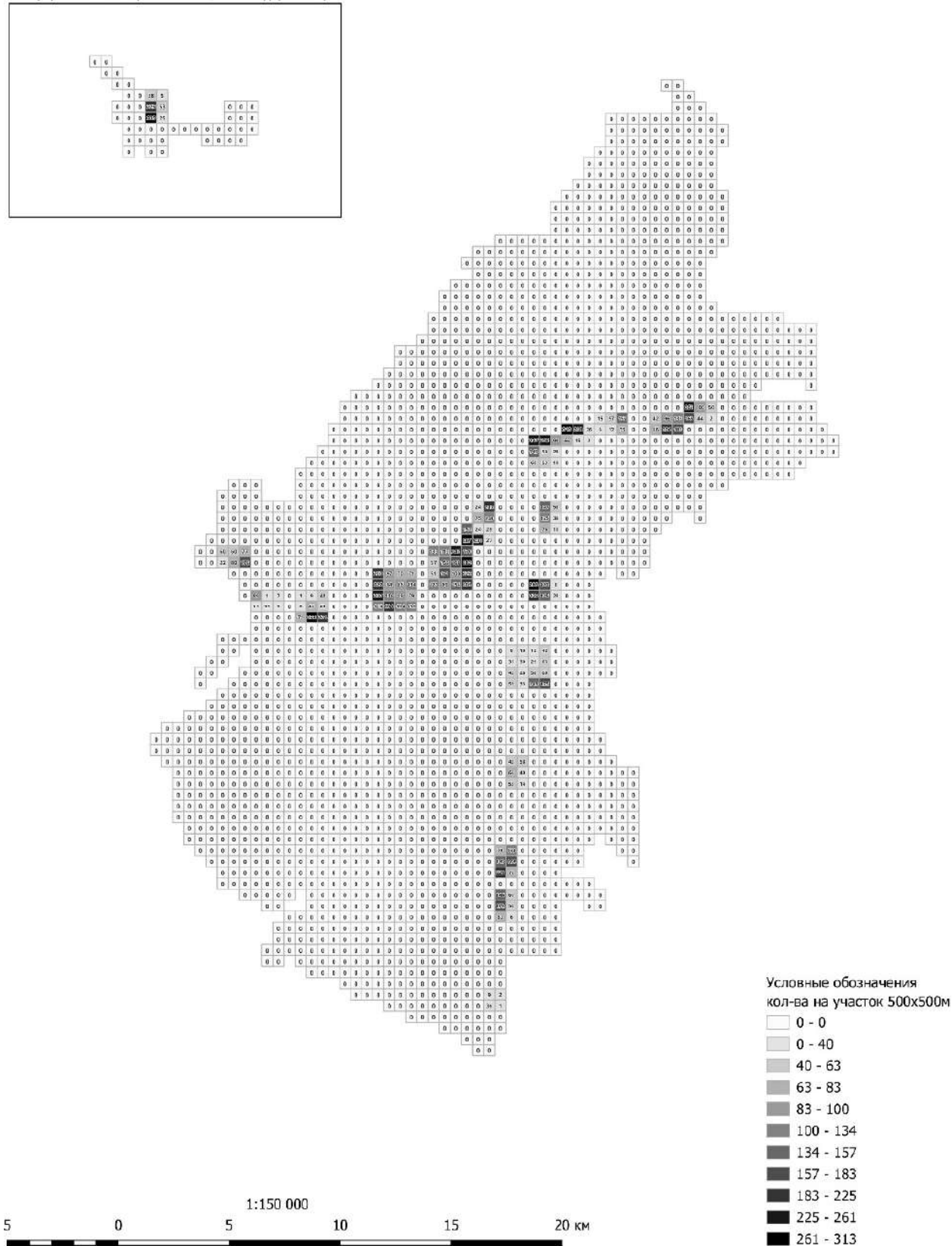


Рис. 3. Схема расположения объектов градостроительной инфраструктуры в радиусе доступности 1,5-2км от Ж/Д вокзалов и станций на территории г. Воронеж

Для дальнейшего анализа составлена табл.1, которая является инструментом оценки развития территорий. Анализ данных позволяет выявить закономерности и определить наиболее развитые территориальные зоны, исходя из плотности и разнообразия инфраструктуры.

Таблица 1

Числовой информационный потенциал объектов градостроительной инфраструктуры в радиусе 1,5...2 км от железнодорожных вокзалов и станций с максимальными показателями (г. Воронеж)

Название вокзала / станции	Номер ячейки	Количество объектов, попавших в ячейку						Всего на территории
		Ж/д вокзалы, станции	Парковка	ООТ	Социальные объекты	Жилая застройка	Всего в ячейке	
Вокзал Воронеж -1	2399	0	22	3	15	93	133	2441
	2400	0	2	1	7	47	57	
	2401	0	2	0	2	47	51	
	2402	0	1	2	26	93	122	
	2493	0	1	0	1	110	112	
	2494	3	5	2	19	123	152	
	2495	2	2	3	82	82	171	
	2496	0	1	2	27	69	99	
	2587	0	0	0	5	237	242	
	2588	0	4	4	12	148	168	
	2589	0	3	5	29	63	100	
	2590	0	3	6	39	106	154	
	2681	0	1	3	9	157	170	
	2682	0	1	2	13	267	283	
	2683	0	2	5	4	211	222	
	2684	0	0	2	9	194	205	
Вокзал Воронеж Курский	1931	0	0	2	4	204	210	2065
	1932	0	4	4	12	202	222	
	1933	0	1	2	9	225	237	
	1934	0	1	2	4	106	113	
	2025	0	1	3	6	87	97	
	2026	0	2	0	5	87	94	
	2027	0	0	1	5	110	116	
	2028	0	0	2	5	204	211	
	2119	0	0	3	7	60	70	
	2120	1	3	2	3	77	86	
	2121	2	6	2	9	70	89	
	2122	0	0	2	3	119	124	
	2213	0	2	0	6	63	71	
	2214	0	8	2	39	85	134	
	2215	0	2	0	10	67	79	
	2216	0	8	1	30	73	112	
Вокзал Воронеж-Южный (ст. Придача)	3066	0	0	0	0	9	9	1442
	3067	0	1	0	1	33	35	
	3068	0	3	3	5	32	43	
	3069	0	1	0	2	56	59	
	3160	0	0	0	0	10	10	
	3161	3	0	0	1	26	30	
	3162	0	2	1	0	23	26	
	3163	0	0	0	0	35	35	
	3254	0	0	0	0	12	12	
	3255	1	4	1	1	22	29	

Окончание табл. 1

Название вокзала / станции	Номер ячейки	Количество объектов, попавших в ячейку						
		Ж/д вокзалы, станции	Парковка	ООТ	Социальные объекты	Жилая застройка	Всего в ячейке	Всего на территории
	3256	0	3	2	6	47	58	
	3257	0	0	2	3	138	143	
	3348	0	0	2	2	38	42	
	3349	0	0	0	10	53	63	
	3350	0	0	0	10	50	60	
	3351	0	2	2	7	164	175	
	7431	2	0	0	0	223	225	
	7432	0	0	1	4	300	305	
	7524	0	0	0	0	5	5	
	7525	0	0	0	0	53	53	
	7526	0	0	0	0	25	25	
Ст. Отрожка	3235	0	1	4	3	239	247	1245
	3236	0	0	1	0	144	145	
	3237	0	2	2	4	52	60	
	3329	0	0	1	0	247	248	
	3330	1	0	0	0	49	50	
	3331	0	2	2	9	40	53	
	3423	0	0	1	2	96	99	
	3424	0	0	0	1	27	28	
	3425	0	0	0	0	10	10	
	3336	0	1	2	14	108	125	
	3337	0	4	3	26	43	76	
	3429	0	2	2	8	46	58	
	3430	1	1	2	7	25	36	
	3431	0	0	0	2	8	10	
Ст. Обручева	3248	0	0	0	0	286	286	872
	3249	0	0	4	3	218	225	
	3342	0	1	0	1	180	182	
	3343	1	4	0	0	140	145	
	3436	0	1	1	0	4	6	
	3437	0	1	0	0	27	28	

Для определения наиболее развитых территорий в данном исследовании используется ориентация на суммарное количество объектов (столбец «Всего на территории»), а также соотношение различных типов инфраструктуры. Значительные величины показателей свидетельствуют о высокой концентрации объектов городской среды, что характеризует территорию как зону с интенсивной градостроительной освоенностью [11].

Расчётные показатели и классификация территорий

Проведем расчет средней плотности жилой застройки для каждого вокзала, определяемой, как отношение суммарного количества жилых объектов, попавших в ячейки, расположенные вокруг вокзала, к общему количеству ячеек.

На основе данных полученных результатов выделены показатели жилой застройки для пяти транспортных узлов (табл. 2).

Квантильная классификация территорий (метод тертилей)

Для малого числа объектов ($n = 5$) метод естественных разрывов (Jenks) не применяется ввиду недостаточной статистической значимости. Корректным подходом является классификация по тертилям (3 равные части распределения) [12].

Таблица 2

Показатели жилой застройки для транспортных узлов г. Воронеж

Вокзал/станция	Кол-во ячеек	Суммарная плотность (ед.)	Мин.	Макс.	Средняя плотность (ед./ячейку)
Воронеж-1	16	2 047	47	267	$2\,047 / 16 = 127,9$
Воронеж-Курский	16	1 839	60	225	$1\,839 / 16 = 114,9$
Ст. Обручева	6	855	4	286	$855 / 6 = 142,5$
Ст. Отрожка	14	1 134	8	247	$1\,134 / 14 = 81,0$
Воронеж-Южный (ст. Придача)	21	1 354	5	300	$1\,354 / 21 = 64,5$

Этапы расчёта:

1) упорядочение средних плотностей по возрастанию: [64,5; 81,0; 114,9; 127,9; 142,5];

2) Определение границ тертилей:

✓ 33-й перцентиль (нижняя граница 2-й категории): значение на позиции $(5 + 1) \times (33 / 100) = 1,98 \approx 2 \rightarrow$ Значение на 2-й позиции = 81,0 ед./ячейку;

✓ 67-й перцентиль (нижняя граница 3-й категории): значение на позиции $(5 + 1) \times (67 / 100) = 4,02 \approx 4 \rightarrow$ Значение на 4-й позиции = 127,9 ед./ячейку;

3) формирование категорий с учётом градостроительной корректировкой: буферные зоны (± 5 –10 ед./ячейку) введены для обеспечения градостроительной интерпретируемости категорий.

Таблица 3

Формирование категорий с учётом градостроительной интерпретации

Категория	Диапазон средней плотности	Критерий отнесения	Вокзалы
1 (низкая плотность)	<90 ед./ячейку	Ниже 33-го перцентиля (81,0) с буфером +5	Воронеж-Южный (ст. Придача) – 64,5
2 (средняя плотность)	90...125 ед./ячейку	Между 33-м и 67-м перцентилями с буферами ± 5	Ст. Отрожка – 81,0* Воронеж-Курский – 114,9
3 (высокая плотность)	> 125 ед./ячейку	Выше 67-го перцентиля (127,9) с буфером – 3	Воронеж-1 – 127,9 Ст. Обручева – 142,5

Примечание. * – Ст. Отрожка (81,0) отнесена к Категории 2 по градостроительным критериям: наличие крупных ЖК, активное освоение, статус узловой станции.

Градостроительная характеристика каждой категории представлена в табл. 4.

Ранжирование территорий по потенциалу градостроительного развития представлено в табл. 5

Проведённый анализ жилой застройки территорий, прилегающих к пяти железнодорожным узлам г. Воронеж, выявил чёткую дифференциацию по плотности застройки и потенциалу градостроительного развития. На основе расчёта средней плотности жилой застройки (суммарная плотность / количество ячеек) и квантильной классификации с градостроительной корректировкой выделены три категории территорий [10, 11, 12].

Таблица 4

Сводная характеристика территорий, прилегающих к железнодорожным узлам г. Воронеж,
по категориям плотности застройки

Категория / Диапазон	Вокзал /станция	Средняя плотность (ед./яч.)	Кол-во ячеек	Мин. / Макс. значение	Тип застройки	Свободные террии	Потенциал развития
Катег. 3 Высокая плотность (> 125 ед./ячейку)	Воронеж-1	127,9	16	47 / 267	Многоэтажная (9...16 эт.), исторический центр	<5 %	Низкий (реновация)
	Ст. Обручева	142,5	6	4 / 286	Многоэтажная (5...9 эт.), массив 1950–70-х гг.	8...10 %	Ограниченный (точечная реконструкция)
Катег. 2 Средняя плотность (90...125 ед./ячейку)	Воронеж-Курский	114,9	16	60 / 225	Сбалансированная многоэтажная (9–14 эт.)	15...20 %	Средний (точечная застройка)
	Станция Отрожка*	81,0	14	8 / 247	Смешанная (МКД + ИЖС)	25...30 %	Высокий (комплексное освоение)
Катег. 1 Низкая плотность (<90 ед./ячейку)	Воронеж-Южный (ст. Придача)	64,5	21	5 / 300	Индивидуальная и малоэтажная (1...3 эт.)	40...45 %	Максимальный (комплексное освоение)

Примечание. * – Ст. Отрожка (81,0) отнесена к Категории 2 по градостроительным критериям: наличие крупных ЖК, активное освоение, статус узловой станции.

Таблица 5

Ранжирование территорий по потенциалу градостроительного развития

Ранг	Вокзал /станция	Категория плотности	Потенциал развития	Обоснование
1	Воронеж-Южный (ст. Придача)	Низкая	Максимальный	Низкая плотность + новый вокзал (2018 г.) + 40...45 % свободных территорий
2	Ст. Отрожка	Средняя	Высокий	Смешанная застройка + свободные территории вдоль трассы М4
3	Воронеж-Курский	Средняя	Средний	Сформированная многоэтажная застройка + 15–20% свободных территорий
4	Воронеж-1	Высокая	Низкий	Максимальная насыщенность объектами + отсутствие свободных территорий + необходимость реновации
5	Ст. Обручева	Высокая	Ограниченный	Высокая плотность + ветхий жилой фонд 1950-х гг.

С учетом полученных данных разработаны рекомендации по градостроительному развитию территорий.

Для территорий Категории 3 (высокая плотность):

✓ переход от количественного к качественному развитию: отказ от программ нового строительства в пользу реновации ветхого жилфонда.

✓ модернизация общественных пространств: реконструкция привокзальных площадей, увеличение площади озеленения.

✓ оптимизация транспортной доступности: развитие «последней мили» через создание велосипедной инфраструктуры и улучшение маршрутов общественного транспорта.

Для территорий Категории 2 (средняя плотность):

✓ точечная застройка с сохранением градостроительной структуры: для Воронеж-Курского – реализация проектов малоэтажной вставки на свободных участках с обязательным обеспечением социальной инфраструктурой;

✓ комплексное развитие свободных территорий: для ст. Отрожка – формирование единого градостроительного кластера;

✓ повышение качества среды: благоустройство дворовых территорий, создание локальных парковых зон.

Для территорий Категории 1 (низкая плотность):

✓ комплексное освоение свободных территорий: разработка градостроительного регламента для зоны Воронеж-Южный (Придача) с установлением параметров застройки: максимальная этажность 9...12 эт., коэффициент использования территории (КИТ) 0,8...1,2, доля зелёных насаждений не менее 25 %;

✓ формирование полифункционального района: баланс жилых, коммерческих и общественных функций;

✓ развитие транспортной связности: скоростные маршруты общественного транспорта до центра города, перехватывающие парковки.

Заключение.

В ходе исследования была разработана методика оценки информационного потенциала городской территории, адаптированная для условий средних городов России. Подход базируется на использовании планировочной решётки с ячейкой 500×500 м и расчёте интегрального индекса, что позволяет количественно оценить насыщенность инфраструктуры и выявить зоны различной градостроительной активности.

На основе полученных данных предложена комбинированная классификация территорий, прилегающих к железнодорожным узлам, основанная на квантильном методе с градостроительной корректировкой. Выделены три категории плотности застройки (низкая, средняя, высокая), что обеспечивает дифференциацию территорий не только по статистическим показателям, но и по реальным возможностям освоения.

Анализ выявил обратную корреляцию между текущей плотностью застройки и потенциалом нового развития. Выявлено, что территории с максимальной насыщенностью объектами (Воронеж-1, ст. Обручева) исчерпали ресурс количественного роста и требуют стратегии реновации, тогда как зоны с низкой плотностью (Воронеж-Южный) обладают максимальным резервом для комплексного освоения. При этом подтверждена роль железнодорожных вокзалов как градостроительных детерминант. На примере г. Воронеж доказано, что новые транспортные объекты (вокзал Воронеж-Южный, 2018 г.) выступают катализаторами развития даже в слабоосвоенных районах, формируя новые точки роста городской структуры.

Определена практическая значимость результатов для территориального планирования. Сформулированные рекомендации по развитию территорий каждой категории - от комплексного освоения до точечной реновации - могут быть использованы при корректировке генерального плана г. Воронеж, разработке правил землепользования и застройки, программ комплексного развития территории, а также при формировании инвестиционных программ развития транспортно-пересадочных узлов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Cervero, R.** The Transit Metropolis: A Global Inquiry / R. Cervero. – Washington, D.C.: Island Press, 1998. – 384 p.
2. **Bertolini, L.** Nodes and places: complexities of railway station redevelopment / L. Bertolini // European Planning Studies. – 1996. – Vol. 4. – № 3. – Pp. 331-345.
3. Batty, M. The New Science of Cities / M. Batty. – Cambridge, MA: MIT Press, 2013. – 432 p.
4. **Енин, А. Е.** Методы и приёмы предпроектного анализа района реконструкции историко-культурной среды / А. Е. Енин, А. С. Танкеев, А. Э. Заплавная // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – № 1(63). – С. 73-83.
5. **Яргина, З. Н.** Основы теории градостроительства: учеб. для вузов / З. Н. Яргина. – Москва: Стройиздат, 1986. – 272 с.
6. **Карелин, Д. В.** Градостроительный анализ развития застроенных территорий. Стратегии комплексного пространственного развития: учебное пособие / Д. В. Карелин, Н. А. Валяева. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2020. – 110 с.
7. **Longley, P. A.** Geographic Information Systems and Science / P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire, D. W. Rhind. – Chichester: John Wiley & Sons, 2015. – 512 p.
8. **Семенова, А. Д.** Проблемы и факторы влияния транспортно-пересадочных узлов на развитие прилегающих городских территорий / А. Д. Семенова // Аллея науки. – 2018. – Т. 6. – № 5(21). – С. 343-349.
9. **Шаймарданова, К. А.** Транспортно-пересадочный узел как градообразующий фактор развития периферийных территорий / К. А. Шаймарданова, Е. И. Прокофьев // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – № 4(50). – С. 175-182.
10. **Якушева, А. Е.** Роль транспортно-пересадочных узлов в формировании комфортной среды современного города / А. Е. Якушева, В. К. Моор, А. Г. Гаврилов // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации. – 2020. – № 4. – С. 63-70.
11. **Рой, О. М.** Основы градостроительства и территориального планирования: учебник и практикум для вузов / О. М. Рой. – Москва: Юрайт, 2026. – 253 с.
12. **Синицына, И. А.** Градостроительный анализ перспектив развития городских территорий / И. А. Синицына, Н. Г. Парсаданян // Наука, образование и экспериментальное проектирование. – 2022. – № 1. – С. 89-97.

Поступила в редакцию 27 марта 2026

**INDEX OF INFORMATION POTENTIAL AS A BASIS FOR ASSESSING
THE DEVELOPMENT OF TERRITORIES ADJACENT TO RAILWAY TERMINALS
AND STATIONS OF THE CITY OF VORONEZH**

M. V. Maximova, A. S. Tankeev

Maria Vladislavovna Maximova, Master's student, Department of Urban Planning, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)236-55-67; e-mail: a.kot.1499@mail.ru
Alexander Semenovich Tankeev, Cand. Sc. (Architecture), Associate Professor, Department of Urban Planning, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)236-55-67; e-mail: ast1111@yandex.ru

Within this study, we propose a methodological approach to analyzing the information potential of an urban territory, using the city of Voronezh as an example. A special attention is paid to the territories adjacent to railway terminals and stations. The paper examines the influence of transport interchange hubs on the formation of the urban environment. We used

information flow mapping, dividing the study area into individual cells. We as well present the results of the distribution of urban infrastructure facilities around the main transport hubs of Voronezh-city. We show a classification of territories based on the identified criteria. We detected three categories of development density (low, medium, and high). The presented data facilitates an understanding of the relation between the quality of the urban environment and transport services, offering specific tools for substantiating urban planning decisions.

Keywords: information potential; planning grid; transport hubs; urban environment; development density, infrastructure assessment; transport accessibility.

REFERENCES

1. **Cervero R.** *The Transit Metropolis: A Global Inquiry*. Washington. D.C. Island Press. 1998. 384 p.
2. **Bertolini L.** *Nodes and places: complexities of railway station redevelopment*. European Planning Studies. 1996. Vol. 4. No. 3. Pp. 331-345.
3. **Batty M.** *The New Science of Cities*. Cambridge, MA, MIT Press. 2013. 432 p.
4. **Enin A. E., Tankeev A. S., Zaplavnaya A. E.** *Methods and techniques of pre-project analysis of the area of reconstruction of the historical and cultural environment*. Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2023. No. 1(63). Pp. 73-83. (in Russian)
5. **Yargina Z. N.** *Fundamentals of Urban Planning Theory*. Moscow, Stroyizdat. 1986. 272 p. (in Russian)
6. **Karelin D. V., Valyaeva N. A.** *Urban Planning Analysis of Built-up Areas Development. Strategies for Integrated Spatial Development*. Novosibirsk, NGASU (Sibstrin). 2020. 110 p. (in Russian)
7. **Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W.** *Geographic Information Systems and Science*. 4th ed. Chichester, John Wiley & Sons. 2015. 512 p.
8. **Semenova A. D.** *Problems and Factors of Influence of Transport Interchange Hubs on the Development of Adjacent Urban Areas*. Alley of Science. 2018. Vol. 6. No. 5(21). Pp. 343-349. (in Russian)
9. **Shaymardanova K. A., Prokofiev E. I.** *Transport Interchange Hub as a City-Forming Factor for the Development of Peripheral Territories*. Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2019. No. 4(50). Pp. 175-182. (in Russian)
10. **Yakusheva A. E., Moor V. K., Gavrilov A. G.** *The Role of Transport Interchange Hubs in Forming a Comfortable Environment of a Modern City*. Architecture and Design: History, Theory, Innovation. 2020. No. 4. Pp. 63-70. (in Russian)
11. **Roy O. M.** *Fundamentals of Urban Planning and Territorial Planning*. Moscow. Yurayt Publishing House. 2026. 253 p. (in Russian)
12. **Sinitsyna I. A., Parsadanyan N. G.** *Urban Planning Analysis of Prospects for Urban Areas Development*. Science, Education and Experimental Design. 2022. No. 1. Pp. 89-97. (in Russian)

Received 27 March 2026

Для цитирования:

Максимова, М. В. Индекс информационного потенциала как основа оценки развития территорий, прилегающих к железнодорожным вокзалам и станциям г. Воронежа / М. В. Максимова, А. С. Танкеев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 2(37). – С. 94-105. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.010.

For citation:

Maximova M. V., Tankeev A. S. *Index of information potential as a basis for assessing the development of territories adjacent to railway terminals and stations of the city of Voronezh*. Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 2(37). Pp. 94-105. DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.010. (in Russian)

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

DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.011

УДК 504.064.2.001.18

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ТОКСОДОЗЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОРАЖАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

М. Н. Жерлыкина, С. А. Яременко, К. В. Гармонов, Т. В. Овчинникова

Жерлыкина Мария Николаевна, 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: mzherlykina@cchgeu.ru

Яременко Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, проректор по учебной работе, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: iaremenko@cchgeu.ru

Гармонов Кирилл Валерьевич, канд. техн. наук, и.о. декана факультета инженерных систем и сооружений, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: kgarmonov@cchgeu.ru

Овчинникова Татьяна Валентиновна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: tvo0104@mail.ru

Рассматриваются теоретические и практические аспекты применения токсодозы как интегрального критерия оценки поражающего действия аварийных выбросов химических веществ. Проанализированы основные типы токсодоз (среднесмертельная, выводящая из строя, пороговая) и их связь с физико-химическими свойствами веществ и параметрами аварийной ситуации. Разработаны математические модели для расчёта токсодозы при различных сценариях аварийного выброса: первичное облако газообразного вещества, вторичное облако при испарении жидкой фазы, комбинированное воздействие. Приведены результаты расчётов для хлора, аммиака, толуола и хлорбензола. Показано, что использование токсодозного подхода позволяет количественно оценить экологический и социальный риск, определить границы санитарно-защитной зоны и обосновать необходимость очистки аварийных выбросов.

Ключевые слова: токсодоза; аварийный выброс; вредные вещества; поражающее действие; экологический риск; социальный риск; санитарно-защитная зона; математическое моделирование; химически опасные объекты.

The article discusses the theoretical and practical aspects of using the toxico-dose as an integral criterion for assessing the damaging effects of emergency releases of chemical substances. We analyze the main types of toxico-doses (lethal, disabling, and threshold), and their relation to the physical and chemical properties of substances and the parameters of the emergency situation. We developed some mathematical models for calculating the toxico-dose under various scenarios of an emergency release, including the primary cloud of a gaseous substance, the secondary cloud formed by the evaporation of a liquid phase, and the combined effect. As a result we present calculations for chlorine, ammonia, toluene, and chlorobenzene. It is shown that the use of the toxodose approach allows for the quantitative assessment of environmental and social risk, the determination of the boundaries of the sanitary protection zone, and the justification of the need for cleaning of emergency emissions.

Keywords: toxico-dose; emergency release; harmful substances; damaging effect; environmental risk; social risk; sanitary protection zone; mathematical modeling; chemically hazardous facilities.

© Жерлыкина М. Н., Яременко С. А., Гармонов, К. В., Овчинникова Т. В., 2026

Чрезвычайная ситуация техногенного характера, сопровождающаяся эмиссией вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, инициирует причинение вреда окружающей природной среде. Вред выражается в деградации качественных характеристик природных ресурсов, ухудшении условий обитания человека, что в конечном итоге приводит к снижению эколого-ресурсного потенциала подвергшихся воздействию территорий. Понятие «вред» включает в себе прямой и опосредованный (косвенный) ущерб, а также убытки природопользователей [1].

Под ущербом понимается стоимостная (денежная) оценка неблагоприятных последствий антропогенного воздействия на окружающую среду.

Под убытками следует понимать материальные и финансовые потери (как прямые, так и косвенные), понесённые природопользователями (физическими и юридическими лицами независимо от организационно-правовой формы). Убытки возникают вследствие проведения мероприятий по ликвидации экологических последствий аварии, восстановления нарушенного состояния природных компонентов, а также включают утрату здоровья, порчу имущества и готовой продукции [2, 3].

Определение величины вреда, нанесённого окружающей среде, производится на основе фактически подтверждённых, инструментально верифицированных и документально зафиксированных параметров негативного воздействия [4...6]. Размер компенсации совокупного ущерба определяется как сумма ущербов, причинённых отдельным природным ресурсам. Допускается также исчисление компенсации на основе ущерба, нанесённого одному репрезентативному компоненту природной среды.

Токсодоза (токсическая доза) – это количественная мера вредного вещества, которая вызывает определенный негативный эффект (от слабого раздражения до гибели) у живого организма или в экосистеме. В контексте оценки ущерба от аварийного выброса она выполняет несколько ключевых функций, позволяющих выполнить экономическую оценку в полном объеме.

Величина токсодозы (D), мг·мин/м, определяется как интеграл концентрации вещества во времени воздействия:

$$D = \int_0^T C(t) \times dt, \quad (1)$$

где $C(t)$ – величина токсодозы в текущий момент времени, мг·мин/м.

В зависимости от тяжести вызываемого поражения различают следующие виды токсодоз:

✓ LCt_{50} – среднесмертельная токсодоза, вызывает смертельный исход у 50 % поражённых.

✓ ICt_{50} – выводящая из строя токсодоза, вызывает потерю трудоспособности у 50 % поражённых.

✓ PCt_{50} – пороговая токсодоза, вызывает начальные симптомы поражения у 50 % поражённых.

В табл. 1 приведены значения пороговых токсодоз для некоторых веществ, используемых на химических производствах [1].

Таблица 1

Пороговые значения токсодоз для приоритетных вредных веществ

Вещество	Пороговая токсодоза PCt_{50} , мг·мин/м ³	Смертельная токсодоза LCt_{50} , мг·мин/м ³	Класс опасности
Хлор	6	60	2 (высокоопасное)
Аммиак	15	150	3 (умеренно опасное)
Толуол	150	1500	3 (умеренно опасное)
Фенол	30	300	2 (высокоопасное)
Сероуглерод	10	100	2 (высокоопасное)
Оксид углерода	300	3000	4 (малоопасное)

Окончание табл. 1

Вещество	Пороговая токсодоза PCt_{50} , мг·мин/м ³	Смертельная токсодоза LCt_{50} , мг·мин/м ³	Класс опасности
Хлорбензол	200	2000	3 (умеренно опасное)
Сероводород	10	100	2 (высокоопасное)

Поражающее действие аварийного выброса определяется не только токсическими свойствами вещества, но и параметрами самой аварийной ситуации [7...9]:

✓ масса выброшенного вещества – величина концентрации и размеры зоны поражения больше с увеличением массы;

✓ скорость истечения позволяет определять начальные концентрации вблизи источника.

✓ фазовое состояние. Следует отметить, что газообразные вещества быстрее распространяются, но могут быстро рассеиваться; аэрозоли и пары тяжелее воздуха могут застаиваться в низинах.

✓ метеорологические условия – скорость и направление ветра, степень вертикальной устойчивости атмосферы, температура воздуха.

✓ характер застройки – плотная застройка уменьшает скорость ветра и ухудшает рассеивание.

Математические модели расчёта основаны на расчёте токсодозы при выбросе газообразного вещества [0, 11].

При мгновенном выбросе газообразного вещества образуется первичное облако, которое дрейфует по ветру.

Максимальная токсодоза на расстоянии x от источника выброса при прохождении первичного облака определяется по формуле [1, 3, 6, 7]:

$$D(x, y, z) = \frac{Q \cdot (2\pi)^{\frac{1}{2}} \cdot \sigma_x}{U \cdot \left(\frac{8}{3} \cdot \pi \cdot R^3 + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \right)} \cdot G_n(x, y, z), \quad (2)$$

где Q – масса выброшенного вещества, мг; U – скорость ветра, м/с; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – дисперсии распределения концентрации по осям; R – начальный радиус облака, м; $G_0(x)$ – коэффициент, учитывающий отражение от земной поверхности.

Для непрерывного выброса (истечение из повреждённого оборудования):

$$D_{\max}(x) = q \cdot \tau \frac{q \cdot \tau}{2\pi \cdot U \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot G_0(x), \quad (3)$$

где q – массовый расход выброса, мг/с; τ – продолжительность выброса, с.

В расчёте токсодозы при испарении разлитой жидкости величина массового потока паров при испарении убывает экспоненциально:

$$G(\tau) = G_0 \cdot \exp(-\beta\tau), \quad (4)$$

где G_0 – начальный массовый поток, мг/с; β – константа затухания, с⁻¹.

Максимальная токсодоза на расстоянии x , м, от источника испарения определяется по формуле:

$$D_{\max}(x) = \frac{G_0 \cdot (1 - \exp(-\beta\tau_{\text{эксп}})) q \cdot \tau}{\beta \cdot U \cdot (2\pi \cdot R^2 + \sigma_y \cdot \sigma_z)} \cdot G_0(x), \quad (5)$$

где $\tau_{\text{эксп}}$ – время экспозиции (время пребывания человека в заражённой зоне).

Расчёт вероятности поражения человека включает в себя величину токсодозы, и даёт возможность оценить вероятность поражения человека:

$$\text{Pr} = a + b \cdot \ln(D), \quad (6)$$

где для хлора: $a = -8,29$; $b = 0,92$; для аммиака: $a = -15,6$; $b = 1,8$.

Вероятность поражения (в долях единицы) определяется по зависимости:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{Pr-5} \left(-\frac{t^2}{2} \right) \cdot dt. \quad (7)$$

Следует уточнить, что при $Pr = 5$ вероятность поражения составляет 50%.

Расчёт токсодоз для характерных аварийных ситуаций выполнен на примере объекта исследования – химическое производство, расположенное в г. Воронеж, производственное помещение с ваннами для обработки материалов. Масса выброса составляет $Q = 10,5$ т, высота источника выброса: $H = 10$ м, скорость ветра: $U = 1$ м/с, класс стабильности атмосферы: D (изотермия), температура внутреннего воздуха: 20 °С. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Аварийный выброс аммиака: исходные данные [1] включают массу выброса: $Q = 7$ т, высоту источника: $H = 5$ м, скорость ветра: $U = 1,5$ м/с. Результаты расчета представлены в табл. 3.

Таблица 2

Расчёт токсодоз для характерных аварийных ситуаций на объекте исследования

Расстояние, м	Концентрация, мг/м ³	Токсодоза, мг·мин/м ³	Вероятность поражения, %
100	850	2550	99,9
500	120	360	95
1000	35	105	60
1500	15	45	30
2000	8	24	10
3000	3	9	5

Таблица 3

Расчёт токсодоз для выброса аммиака на объекте исследования

Расстояние, м	Концентрация, мг/м ³	Токсодоза, мг·мин/м ³	Вероятность поражения, %
200	3500	10500	99,9
500	800	2400	95
1000	180	540	70
2000	45	135	40
3000	15	45	15
5000	5	15	5

Аварийный выброс толуола (с учётом испарения) при исходных данных [1]: разлив жидкости: 26 т толуола, площадь разлива: $F = 500$ м², температура жидкости: 20 °С, давление насыщенных паров: 29 мм рт. ст., скорость ветра: 1 м/с.

Расчёт начального массового потока паров:

$$G_0 = 0,133 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 29 \cdot 1 \cdot \sqrt{92} = 0,0185 \text{ кг/с} = 18,5 \text{ г/с}$$

Результаты расчёта токсодозы при аварийном выбросе толуола (с учётом испарения) представлен в табл. 4.

Таблица 4

Расчёт токсодоз для выброса толуола (с учётом испарения) на объекте исследования

Расстояние, м	Концентрация, мг/м ³	Токсодоза, мг·мин/м ³	Вероятность поражения, %
0	180	10800	95
100	60	3600	80
200	20	1200	60
500	6	360	25
1000	2	120	10

Сравнительный анализ поражающего действия для объекта исследования представлен в табл. 5.

Таблица 5

Сравнительная характеристика поражающего действия

Параметр	Хлор	Аммиак	Толуол	Хлорбензол
Пороговая токсодоза, мг·мин/м³	6	15	150	200
Смертельная токсодоза, мг·мин/м³	60	150	1500	2000
Радиус смертельного поражения (при $Q=10$ т), м	500	300	50	30
Радиус порогового поражения (при $Q=10$ т), м	2000	1500	300	250

Применение токсодозного подхода для оценки риска представлено в виде аналитической зависимости для определения экологического риска ($R_{экол}$) при аварийном выбросе:

$$R_{экол} = \sum_{i=1}^n 5 \cdot K_i \cdot K_{ЭАВ} \cdot H_{Б АВ}^{\alpha} \cdot M \cdot 10^{-3}, \quad (8)$$

где 5 – повышающий коэффициент; K_i – коэффициент индексации; $K_{ЭАВ}$ – коэффициент экологической ситуации; $H_{Б АВ}^{\alpha}$ – базовый норматив платы за выброс в атмосферу загрязняющих веществ, руб./т; M – масса выделившихся загрязняющих ВВ, т; n – количество загрязняющих вредных веществ.

Пример расчёта для толуола ($M=10$ т, $D/D_{пор}=2,4$, $H_{Б АВ}=2,5$ руб./т, $K=1,9$, повышающий коэффициент 5): ущерб без применения очистки 570 тыс. руб., ущерб при очистке 99 % 5,7 руб.

Расчет токсодозы позволяет оценить социальный риск в случае возникновения аварийного выброса. Социальный риск – это вероятность поражения определённого числа людей, определяется по аналитической зависимости:

$$R_{соц} = \sum_i P_{авар_i} \cdot N_i (D_i). \quad (9)$$

Пример расчета для аварийного выброса хлора на объекте исследования ($Q=10$ т, вероятность аварии 10^{-5} год $^{-1}$, население в зонах поражения учтено) представлен в табл. 6.

Таблица 6

Расчета для аварийного выброса хлора на объекте исследования

Зона, м	Число людей	Токсодоза, мг·мин/м³	Вероятность поражения	Ожидаемое число поражённых
0...500	50	>60	0,95	48
500...1000	200	60...6	0,50	100
1000...1500	300	6...1	0,10	30
1500...2000	400	<1	0,02	8

В результате установлено, что для объекта исследования в случае аварийного выброса хлора ожидаемое число пострадавших: 186 человек, а социальный риск составит $1,86 \cdot 10^{-3}$ год $^{-1}$.

Таким образом, при обосновании необходимой степени очистки возможно определение требуемой эффективности очистки для достижения пороговой токсодозы на границе санитарно-защитной зоны:

$$\eta_{тр} = 1 - \frac{D_{пор}}{D_{расч}} \cdot \frac{U}{U_0} \cdot \frac{H_0^2}{H^2}. \quad (10)$$

Пример расчета необходимой степени очистки для хлора ($D_{расч}=360$, $D_{пор}=6$, $H_0=5$ м, $H=10$ м):

$$\eta_{\text{тр}} = 1 - (6/360) \cdot 1 \cdot (25/100) = 1 - 0,00417 = 0,9958 = 99,58\%.$$

В результате применения значения токсодозы для оценки поражающего действия аварийных выбросов химических веществ сформированы практические рекомендации, включающие в себя алгоритм прогнозирования последствий аварийной ситуации на химически опасном объекте, состоящий из:

- ✓ сбора исходных данных (вещество, масса, параметры источника, метеосостояние);
- ✓ расчёта поля концентраций;
- ✓ расчёта токсодоз с учётом времени воздействия;
- ✓ сравнения с пороговыми значениями;
- ✓ оценки вероятности поражения;
- ✓ расчёта ожидаемого числа пострадавших;
- ✓ оценки экологического и социального риска;
- ✓ обоснования мер защиты.

Прогнозирование последствий аварийной ситуации позволяет предусмотреть меры по снижению токсодозного воздействия:

- ✓ снижение массы выброса – аварийные ёмкости, автоматическая запорная арматура;
- ✓ локализация разлива – поддоны, обваловки, дренаж;
- ✓ аэрозольная защита – водяные завесы;
- ✓ эвакуация населения – при превышении пороговой токсодозы;
- ✓ использование СИЗ – в зонах с опасными концентрациями;
- ✓ очистка выбросов – при невозможности снижения токсодозы рассеиванием.

Заключение.

Рассмотрены аспекты расчёта токсодозы, которая является интегральным критерием поражающего действия, учитывающим концентрацию и время экспозиции. Разработанные математические модели позволяют рассчитывать токсодозу для различных сценариев аварии.

Показано, что радиусы зон поражения по токсодозному критерию в 2...5 раз превышают радиусы, определяемые по ПДК. Требуемая эффективность очистки для достижения пороговой токсодозы на границе санитарно-защитной зоны составляет 99...99,9 % для хлора и аммиака. Разработанный алгоритм может использоваться при декларировании промышленной безопасности химически опасных объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Жерлыкина, М. Н.** Повышение эффективности аварийной вентиляции производственного помещения для обеспечения взрывобезопасности при выбросах химических веществ/ диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Воронеж, 2006. – 166 с.
2. **Яременко, С. А.** Математическое моделирование нагружения взрывозащитного клапана в системах вентиляции / С. А. Яременко, О. И. Гайдаш, М. Н. Жерлыкина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 3(30). – С. 37-45. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.004
3. **Эльтерман, В. М.** Вентиляция химических производств / В.М. Эльтерман. – Москва: Химия, 1980. – 288 с.
4. **Полосин, И. И.** Динамика процессов промышленной вентиляции // Автореферат диссертации доктора технических наук. – Воронеж, 2001.
5. Numerical study of the non-azeotropic mixture outflow in event accident in the building cooling system / M. N. Zherlykina, Yu. A. Vorobieva, M. S. Kononova, S. A. Yaremenko / IOP

Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Science and Technology Conference "Earth Science", ISTC EarthScience 2022 – Chapter 4." 2022.

6. Реализация математической модели для оценки эффективности схем организации воздухообмена в цехах гальванопокрытий / И. И. Полосин, С. Н. Кузнецов, А. В. Портяников, А. В. Дерепасов // Приволжский научный журнал. – 2009. – № 2(10). – С.42-47.

7. Энергетические спектры пульсационной скорости в свободных турбулентных вентиляционных потоках / С. А. Яременко, И. И. Переславцева, Н. А. Руднева, В. А. Малин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 3 (8). – С. 32-38.

8. **Скрыпник, А. И.** Расчетная модель определения наиболее вероятной величины вентиляционного выброса химических веществ при аварийной ситуации / А. И. Скрыпник, М.Н. Жерлыкина // Известия ВУЗов. Строительство. –Новосибирск, 2004. – № 5. – С.72-75.

9. **Zherlykina, M. N., Kononova, M. S., Vorobeve, Y. A.** Emergency ventilation industrial premises of chemical industry enterprises / M. N. Zherlykina, M. S. Kononova, Y. A., Vorobeve / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. "International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety – 4. Construction Technology and Organization" 2019. С. 044016.

10. **Бесчастнов, М. В.** Взрывобезопасность и противоаварийная защита химико-технологических процессов. – Москва: Мир, 1989.

11. Численно-аналитические исследования прочностных характеристик элементов взрывозащитного клапана вентиляционных систем / С. А. Яременко, О. И. Гайдаш, К. В. Гармонов, М. Н. Жерлыкина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 4(35). – С. 48-55. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.35.4.005.

Поступила в редакцию 25 мая 2026

USING THE TOXODOSE VALUE TO ASSESS THE EFFECTS OF EMERGENCY CHEMICAL RELEASES

M. N. Zherlykina, S. A. Yaremenko, R. V. Garmonov, T. V. Ovchinnikova

Marya Nikolaevna Zherlykina, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: mzherlykina@cchgeu.ru

Sergey Anatolevich Yaremenko, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Vice-Rector for Academic Affairs, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: iaremenko@cchgeu.ru

Kirill Valerievich Garmonov, Cand. Sc. (Tech.), Dean of the Faculty of Engineering Systems and Sanitary Constructions, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: kgarmonov@cchgeu.ru

Tatyana Valentinovna Ovchinnikova, Cand. Sc. (Biol.), Senior Researcher, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: tvo0104@mail.ru

The article discusses the theoretical and practical aspects of using the toxico-dose as an integral criterion for assessing the damaging effects of accidental releases of chemical substances. The main types of toxico-doses (lethal, disabling, and threshold) are analyzed, and their relationship to the physical and chemical properties of substances and the parameters of the emergency situation is examined. Mathematical models are developed for calculating the toxico-dose under various scenarios of an emergency release, including the primary cloud of a gaseous substance, the secondary cloud formed by the evaporation of a liquid phase, and the combined effect. The results of calculations for chlorine, ammonia, toluene, and chlorobenzene are presented. It is shown that the use of the toxodose approach allows for the quantitative assessment of environmental and social risk, the determination of the boundaries of the sanitary protection zone, and the justification of the need for cleaning of emergency emissions.

Keywords: toxodosis; emergency release; harmful substances; damaging effect; environmental risk; social risk; sanitary protection zone; mathematical modeling; chemically hazardous facilities.

REFERENCES

1. **Zherlykina M. N.** *Increase of efficiency of emergency ventilation of industrial premises for maintenance of explosion safety at emissions of chemical substances*. The dissertation of the candidate of engineering sciences. Voronezh. 2006. 166 p.
2. **Yaremenko S. A., Gaidash O. I., Zherlykina M. N.** Mathematical modeling of loading of an explosionproof valve in ventilation systems. Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 3(30). Pp. 37-45. DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.004. (in Russian)
3. **Elterman V. M.** *Ventilation of chemical manufactures*. Moscow, Chemistry. 1980. 288 p. (in Russian)
4. **Polosin I. I.** Dynamics of processes of industrial ventilation. Voronezh. 2001. (in Russian)
5. **Zherlykina M. N., Vorobieva Yu. A., Kononova M. S., Yaremenko S. A.** *Numerical study of the non-azeotropic mixture outflow in event accident in the building cooling system*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Issue. "International Scientific and Technology Conference "Earth Science", ISTC EarthScience 2022. Chapter 4." 2022.
6. **Polosin I. I.** *Realisation of mathematical model for an estimation of efficiency of schemes of the organisation of air exchange in shops Galvanocoverings*. Privolzhsky scientific bulletin. 2009. No. 2(10). Pp.42-47. (in Russian)
7. **Yaremenko S. A.** *Energy spectra of the pulsation velocity in free turbulent ventilation flows*. Scientific journal. Engineering systems and facilities. 2012. No. 3(8). Pp. 32-38. (in Russian)
8. **Skrypnik A. I.** *Calculation model for determining the most probable value of venting of chemical substances in an emergency situation*. News of Universities. Building. Novosibirsk. 2004. No. 5. Pp.72-75. (in Russian)
9. **Zherlykina M. N., Kononova M. S., Vorobeve Y. A.** *Emergency ventilation industrial premises of chemical industry enterprises*. IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering. Issue. "International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety – 4. Construction Technology and Organization" 2019. Pp. 044016.
10. **Beschastnov M. V.** *Explosion Safety and Emergency Protection of Chemical and Technological Processes*. Moscow, Mir. 1989.
11. **Yaremenko S. A., Gaidash O. I., Garmonov R. V., Zherlykina M. N.** *Numerical and analytical studies of the strength characteristics of the explosion-proof valve elements of ventilation systems*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 4(35). Pp. 48-55. DOI 10.36622/2541-9110.2025.35.4.005. (in Russian)

Received 25 May 2026

Для цитирования:

Применение значения токсодозы для оценки поражающего действия аварийных выбросов химических веществ / М. Н. Жерлыкина, С. А. Яременко, К. В. Гармонов, Т. В. Овчинникова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 2(37). – С. 106-113. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.011.

FOR CITATION:

Zherlykina M. N., Yaremenko S. A., Garmonov K. V., Ovchinnikova T. V. *Using the toxodose value to assess the effects of accidental chemical releases*. Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 2(37). Pp. 106-113. DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.011. (in Russian)

ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЕ ХОЗЯЙСТВО И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

ROAD TRANSPORT, AGRICULTURE AND CONSTRUCTION MACHINES

DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.012

УДК 69.035.4; 624.1; 711.553

ИНТЕГРАЦИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В ТРАНСПОРТНЫЙ КАРКАС КРУПНЫХ ГОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВОЛГОГРАД)

Н. В. Коростелева, И. А. Краснова, А. А. Дмитруха

Коростелева Наталия Владимировна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры городского строительства, экономики и управления проектами, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(8442)24-81-15; e-mail: korostelevanv@mail.ru

Краснова Ирина Алексеевна, бакалавр Института Архитектуры и Строительства, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(8442)24-81-15; e-mail: ira.krasnova.2000@list.ru

Дмитруха Алина Александровна, бакалавр Института Архитектуры и Строительства, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(8442)24-81-15; e-mail: alinadmitruha2273@gmail.com

Статья посвящена проблеме интеграции подземного пространства в транспортный каркас крупных городов на примере исторического центра Волгограда. Актуальность исследования обусловлена критическим дисбалансом между стремительным ростом автомобилизации и ограниченной пропускной способностью улично-дорожной сети, сформированной в условиях исторической застройки. В работе выявлены ключевые узлы критической перегрузки центрального района города. Проанализированы сдерживающие факторы освоения подземного пространства: градостроительные (объекты культурного наследия, линия скоростного трамвая), инженерно-геологические (оползневые процессы, высокий уровень грунтовых вод) и нормативные (охранные зоны, градостроительные регламенты). На основе обобщения отечественного и зарубежного опыта сформулированы принципы интеграции подземных сооружений: системная связность, функциональная полицентричность, комплементарность наземной и подземной инфраструктуры, адаптивность, учет ограничений, комфорт и безопасность. Предложена классификация функциональных сценариев использования подземного уровня: транспортные тоннели-дублёры для вывода транзитных потоков, многоуровневые пересадочные узлы, интегрированные с общественным транспортом, и подземные парковочные хабы, включая перехватывающие парковки на въездах в центр. Разработаны концептуальные предложения по размещению подземных многофункциональных комплексов на территории района. Реализация предложенной схемы позволит разгрузить наземную улично-дорожную сеть, ликвидировать дефицит парковочного пространства, сохранить историко-культурное наследие и повысить качество городской среды.

Ключевые слова: подземное пространство; объекты подземного строительства; транспортная инфраструктура; исторический центр; транспортный каркас.

Для крупных городских агломераций России стремительная автомобилизация населения приводит к учащающимся транспортным проблемам. Темпы прироста парка личных автомобилей вступили в острый конфликт с пропускной способностью улично-дорожной сети, что приводит к повсеместным транспортным заторам, падению скорост-

ного режима и ухудшению экологической обстановки [1...3]. Наиболее сложная ситуация складывается в центральных районах городов-миллионников с исторически ценной застройкой: здесь исчерпан потенциал традиционного расширения магистралей, поскольку подобные вмешательства вступают в противоречие с необходимостью сохранения архитектурного наследия и сложившейся градостроительной структуры [4...5].

Применяемые в настоящее время методы регулирования транспортных потоков – от интеллектуальных систем управления движением до ограничительных мер в отношении личного автотранспорта – показывают свою несостоятельность в долгосрочной перспективе. Подобные решения воздействуют лишь на внешние проявления перегрузки, оставляя нетронутой её глубинную причину: фундаментальное рассогласование между реальным спросом на передвижения и фактической пропускной способностью дорожной инфраструктуры. В сложившихся условиях на первый план выходит необходимость обращения к нетрадиционным подходам, а именно – к вовлечению в транспортную систему дополнительных пространственных резервов города.

Одним из наиболее обнадёживающих векторов развития выступает концепция включения подземного пространства в действующую транспортную структуру. Речь идёт не о точечном возведении обособленных тоннелей или паркингов, а о формировании целостной многоуровневой системы, элементы которой функционально и пространственно соподчинены единой логике. Ключевая задача такой интеграции – прокладка взаимоувязанных подземных дублёров основных магистралей, создание сети перехватывающих парковок в связке с пересадочными узлами, а также организация распределительных логистических центров. В совокупности эти меры позволяют перенаправить транзитные потоки в обход исторической застройки, освободить поверхностные территории и кардинально повысить устойчивость транспортного каркаса.

Волгоград, как крупный город с высокой историко-культурной ценностью центральной части и устойчивой тенденцией роста уровня автомобилизации (по данным Росстата, с 119,4 до 431,1 автомобиля на 1000 жителей в период 2000...2023 гг.), представляет собой репрезентативный пример для изучения данной проблемы. Интенсивная транспортная нагрузка на центральные улицы требует поиска инновационных решений, не нарушающих целостность исторической среды [6].

Таким образом, возникает научная и практическая необходимость в разработке принципов и методов комплексной интеграции подземного пространства в транспортный каркас крупного города для устойчивого развития его исторического центра.

Цель данной научной статьи – разработать научно-обоснованные принципы интеграции подземного пространства в транспортный каркас крупного города и предложить концептуальную схему их применения для исторического центра Волгограда.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- ✓ провести анализ динамики автомобилизации и выявить узлы критической перегрузки в транспортном каркасе исторического центра Волгограда;
- ✓ обобщить мировой и отечественный опыт интеграции подземных транспортных сооружений в городскую среду, выявив типовые решения и тенденции;
- ✓ проанализировать градостроительные, инженерно-геологические и нормативные ограничения для освоения подземного пространства в центральной части Волгограда;
- ✓ сформулировать принципы и разработать классификацию функциональных сценариев интеграции подземного уровня в транспортный каркас;
- ✓ на основе предложенных принципов разработать концептуальные предложения по интеграции подземного пространства в ключевые узлы транспортного каркаса исторического центра Волгограда.

Предмет исследования – процесс и принципы интеграции подземного пространства в структуру транспортного каркаса.

В качестве инструмента исследования был применён метод системного анализа.

Улично-дорожная сеть (УДС) городов создается десятилетиями, и для её изменения необходимо длительное время. Структура и протяженность УДС формируются на основе генерального плана развития и ориентированы на определённый уровень автомобилизации. В течение длительного времени в нашей стране приоритет отдавался общественному транспорту, а уровень автомобилизации составлял порядка 60 авт./1000 чел. [7]. Именно для этого уровня и была рассчитана существующая транспортная инфраструктура. На сегодняшний день фиксируется устойчивый рост автомобилизации, что приводит к несоответствию проектной пропускной способности транспортной сети реальным нагрузкам.

Увеличение автомобилизации в сложившейся транспортной инфраструктуре города обуславливает ряд проблем:

- ✓ малая удельная плотность магистральных улиц и неразвитость сети местных улиц;
- ✓ низкая пропускная способность улиц и пересечений;
- ✓ совместное движение общественного пассажирского транспорта с другими видами транспорта;
- ✓ практическое отсутствие системы обеспечения парковок в городе;
- ✓ негативное влияние на окружающую среду.

Для городов с различной планировочной структурой характерны те или иные проблемы. В линейных городах серьёзной проблемой является пропуск концентрированных автомобильных потоков и нехватка парковочных мест в центральной части. Волгоград является типичным представителем линейных городов, и ему присущи именно выше обозначенные транспортные проблемы.

Помимо устойчивого роста автомобилизации в Волгограде, не менее важной проблемой транспортного каркаса города является его специфическая планировочная структура. Волгоград – один из ярких представителей линейной структуры (из восьми существующих планировочных районов семь расположены вдоль р. Волги). Протяжённость города в продольном направлении составляет порядка 90 км, при этом в поперечном направлении его габариты варьируются от 5 до 20 км. Вследствие этого весь транзитный транспортный поток, движущийся с одного конца города в другой, проходит через его центральную часть. При этом Центральный район является главным узлом, аккумулирующим транспортные потоки. Наибольшая интенсивность движения приходится на утренние (7:00...9:00) и вечерние (17:00...19:00) часы «пик», что приводит к возникновению значительных заторов, перегружающих транспортную сеть (рис. 1).

Проблема дефицита мест для хранения автомобилей также наиболее остро проявляется в центральном районе в будние дни в связи с высокой концентрацией на данной территории объектов административного и делового назначения [8].

Ключевые узлы критической перегрузки в историческом центре Волгограда совпадают с местами концентрации транспортных потоков и ограниченной пропускной способностью проезжих частей (рис. 1).

Проведённый анализ схемы заторов на улицах центральной части Волгограда позволил выделить участки улично-дорожной сети, подверженные критической и высокой транспортной нагрузке, а также определить причины сложившейся ситуации.

К числу улиц с наибольшей интенсивностью заторов относятся продольные магистрали и улицы, связывающие северные и южные районы города (проспект им. В.И. Ленина, улицы Советская, Коммунистическая, Пархоменко и Мира), что касается уличных коммуникаций, расположенных в поперечном направлении, то наиболее проблемными являются улицы Комсомольская, Краснознаменская и Володарская. Данные магистрали формируют опорный каркас центральной части города и обеспечивают связь между основными общественными, административными и деловыми узлами, включая площадь Павших Борцов, центральный железнодорожный вокзал и набережную.

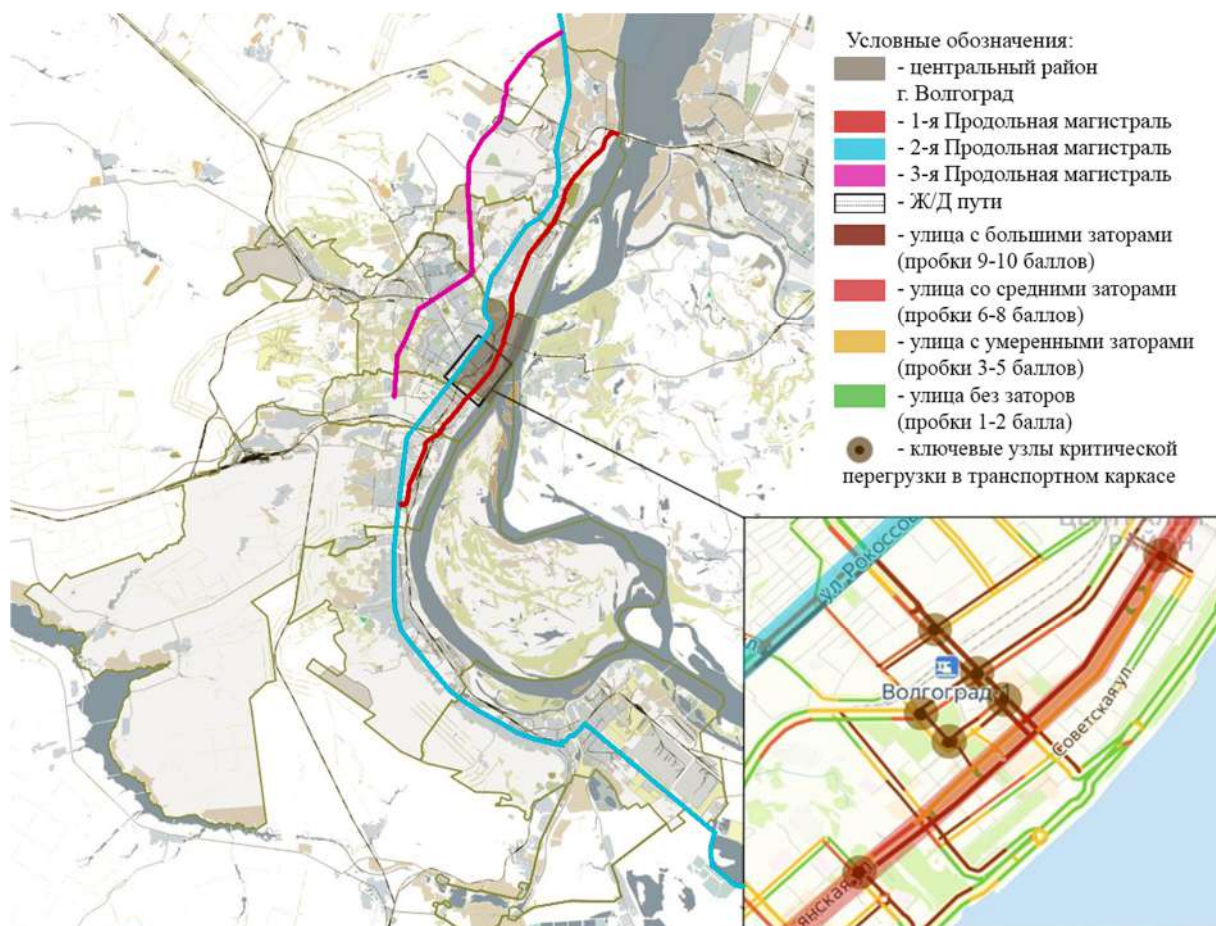


Рис. 1. Схема заторов на улицах исторического центра и их территориальное расположение в структуре центрального района г. Волгоград

К основным причинам критической перегрузки УДС центральной части Волгограда можно отнести:

Концентрация основных транспортных потоков. В силу линейной планировочной структуры Волгограда весь транзитный поток, следующий между северными и южными районами города, вынужденно проходит через центральную часть. Проспект Ленина и примыкающие к нему улицы принимают на себя максимальную нагрузку, особенно в часы пик.

Ограниченная пропускная способность. Историческая застройка центра сформировала фиксированные габариты улиц (проезжие части, радиусы поворотов), не позволяющие расширить проезжую часть или увеличить количество полос без сноса ценных зданий и нарушения архитектурного облика.

Высокая плотность объектов притяжения. В центральном районе сосредоточены основные административные учреждения, офисы, учебные заведения, культурные и торговые объекты. Это генерирует значительные маятниковые миграции населения, при которых личный автотранспорт остаётся доминирующим средством передвижения.

Дефицит мест для парковки. Из-за нехватки организованных парковок водители вынуждены занимать крайние ряды проезжих частей, что дополнительно снижает пропускную способность улиц.

Таким образом, ключевой причиной критической перегрузки выделенных улиц является структурный дисбаланс между высоким транспортным спросом, обусловленным градостроительной спецификой линейного города, и физической невозможностью расширения пропускной способности исторически сложившейся улично-дорожной сети. Выявленные узлы перегрузки требуют первоочередного внедрения мер по перераспределению

потоков, включая использование подземного пространства для организации тоннелей и перехватывающих парковок.

Анализ мирового опыта использования подземных транспортных сооружений обнаруживает следующую закономерность: данный тип сооружений становится всё более востребованным именно в центральных частях крупных городов, особенно при наличии историко-архитектурной ценности застройки. Практика подтверждает, что обособленные транспортные конструкции в центральных районах городов теряют свою эффективность [9...15]. Вместо этого целесообразно проектировать интегрированные комплексы, объединяющие транспортные системы с торгово-сервисными функциями. Такие решения позволяют увеличить вместительность территории центра, не нарушая архитектурно-исторический облик зданий и фасадов. Благодаря размещению под землёй магазинов, услуг и пунктов транспортного обслуживания удаётся сократить загруженность дорог, освободив больше места для пешеходов и благоустроенных территорий. Эффективная разгрузка дорожной сети в периоды интенсивного движения обеспечивается переносом транспортных потоков, стоянок автомобилей и обслуживающих объектов на подземные уровни, минимизируя заторовые ситуации на улично-дорожной сети.

На данный момент г. Волгоград переживает эпоху комплексного подхода к развитию своей территории, охватывающего не только надземные пространства, но и активное освоение подземного потенциала. Однако реализация стратегии интеграции подземного пространства в транспортный каркас исторического центра Волгограда сопряжена с необходимостью учёта комплекса сдерживающих факторов, обусловленных сложившейся градостроительной ситуацией, инженерно-геологическими условиями территории и действующим нормативно-правовым регулированием. Системный анализ данных ограничений является обязательным этапом обоснования проектных решений.

Градостроительные ограничения. Исторический центр Волгограда характеризуется высокой плотностью застройки, наличием объектов культурного наследия и сложившейся архитектурно-планировочной структурой, что существенно лимитирует возможность размещения подземных сооружений открытым способом. Ключевым фактором, влияющим на трассировку подземных коммуникаций и тоннелей, является проходящая под проспектом им. В.И. Ленина линия скоростного подземного трамвая, которая формирует коридор, исключая или существенно ограничивающий прокладку параллельных автодорожных тоннелей на сопоставимых глубинах. Дополнительным ограничением выступают параметры застройки и красные линии, закреплённые в действующей градостроительной документации, которые определяют возможные зоны размещения входных групп, вентиляционных шахт и иных элементов подземных сооружений, выходящих на поверхность.

Инженерно-геологические ограничения. Территория центральной части города расположена на правом берегу Волги и характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, что подтверждается многолетними наблюдениями [16]. В соответствии с требованиями СП 248.1325800.2016, при проектировании подземных сооружений в таких условиях необходимо выявлять тектонические структуры, древние эрозионные врезы, глубину залегания скальных грунтов, а также наличие слабых прослоев в толще дисперсных грунтов. Основными лимитирующими факторами выступают: развитие оползневых процессов на прибрежных склонах (особенно в районе поймы реки Царицы), высокий уровень грунтовых вод, обусловленный близостью Волги и создающий риск подтопления подземных конструкций, а также преобладание в геологическом разрезе песчаных, глинистых и супесчаных грунтов, склонных к деформациям и просадкам при динамических нагрузках. Кроме того, интенсивное движение по наземным магистралям и вибрации от линии скоростного трамвая формируют техногенное воздействие, требующее применения специальных шумовиброзащитных мероприятий при проектировании заглублённых объектов.

Нормативные ограничения. Проектирование подземных транспортных сооружений в историческом центре Волгограда регламентируется многоуровневой системой нормативно-правовых актов. На федеральном уровне ключевыми документами являются Градостроительный кодекс РФ, Федеральный закон № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия...», а также специализированные своды правил (СП 122.13330.2023 «Тоннели железнодорожные и автодорожные», СП 248.1325800.2016 «Сооружения подземные. Правила проектирования») и ГОСТы, устанавливающие требования к проектированию, строительству и эксплуатации подземных объектов. На региональном и местном уровнях определяющее значение имеют Правила землепользования и застройки городского округа Волгоград, которые регламентируют процедуры получения разрешений на использование подземного пространства, устанавливают запреты на его освоение в границах зон санитарной охраны водных объектов и местах расположения археологических памятников, а также фиксируют предельные параметры (коэффициент использования, глубину заложения). Генеральный план Волгограда определяет перечень улиц и площадей, где допускается проведение подземных работ, и выделяет особые зоны с ограничениями ввиду ценности архитектурных комплексов и исторической застройки. Таким образом, любое проектное предложение должно проходить процедуру согласования на предмет соответствия охраняемым обязательствам и градостроительным регламентам.

Совокупность рассмотренных ограничений не исключает возможность освоения подземного пространства в центральной части Волгограда, однако требует дифференцированного подхода: наиболее целесообразным представляется сосредоточение подземных объектов на периферии центрального района (перехватывающие функции) и точечное размещение многофункциональных комплексов в узлах с наименьшими инженерно-геологическими рисками (площадь Павших Борцов, привокзальная территория, отдельные перекрёстки) при условии строгого соблюдения нормативных требований и компенсационных мероприятий.

Исходя из анализа мирового опыта и специфики транспортных проблем линейных городов, представляется возможным выделить три основных функциональных сценария использования подземного пространства в структуре транспортного каркаса, которые могут реализовываться как изолированно, так и в различных комбинациях.

Дублёры магистралей (транспортные тоннели). Данный сценарий предполагает прокладку подземных участков автодорог, дублирующих наиболее перегруженные наземные магистрали или создающих новые связующие направления в обход исторического центра. Целесообразность применения подземных дублёров обусловлена следующими факторами:

- ✓ необходимость вывода транзитных потоков с поверхности с сохранением непрерывности движения;
- ✓ невозможность расширения проезжей части наземных улиц ввиду плотной исторической застройки;
- ✓ потребность в обеспечении скоростного сообщения между удалёнными районами без светофорного регулирования.

Применительно к Волгограду данный вариант на территории центрального района не возможен из-за градостроительных и инженерно-геологических причин.

Пересадочные узлы (транспортно-пересадочные комплексы). Подземные пересадочные узлы представляют собой многоуровневые комплексы, обеспечивающие удобную и безопасную пересадку пассажиров между различными видами транспорта: железнодорожным, скоростным трамваем, автобусом, личным и таксомоторным транспортом. В структуру таких узлов, как правило, включаются:

- ✓ подземные вестибюли и распределительные залы;
- ✓ пешеходные тоннели, связывающие платформы различных видов транспорта;
- ✓ остановочные пункты с навесами и павильонами (при выходе на поверхность);

- ✓ объекты торгово-сервисного назначения (магазины, кафе, пункты бытового обслуживания);
- ✓ санитарно-гигиенические помещения и комнаты матери и ребёнка.

Для Волгограда ключевыми точками размещения подземных пересадочных узлов являются территория центрального железнодорожного и автовокзала, а также узлы пересечения линий скоростного трамвая с магистральными улицами. Создание таких узлов позволит сократить время пересадки, повысить привлекательность общественного транспорта и снизить использование личных автомобилей для поездок в центр (рис. 2).

Парковочные хабы (подземные автостоянки и паркинги). Данный сценарий ориентирован на решение проблемы дефицита парковочного пространства в центральном районе путём размещения многоуровневых подземных стоянок, интегрированных с объектами притяжения и пересадочными узлами. В зависимости от функционального назначения выделяются:

- ✓ перехватывающие парковки, располагаемые на въездах в центральный район и предназначенные для длительного хранения автомобилей с последующей пересадкой владельцев на общественный транспорт;
- ✓ парковки при объектах массового посещения (административные здания, торговые центры, учебные заведения), рассчитанные на кратковременное и долговременное хранение;
- ✓ паркинги смешанного типа, совмещённые с торгово-сервисными функциями на верхних подземных уровнях.

Подземное размещение парковочных хабов позволяет не только увеличить ёмкость стоянок, но и высвободить поверхность для благоустройства, озеленения и организации комфортных пешеходных пространств.

Предложенная классификация не является жёсткой: в условиях высокой плотности застройки и ограниченности подземного пространства наиболее эффективными представляются комбинированные решения, совмещающие функции дублёра магистрали, пересадочного узла и парковочного хаба в едином многофункциональном подземном комплексе. Примером такого подхода могут служить центр Kamppi в Хельсинки, торговый комплекс Stachus Passagen в Мюнхене и подземный торговый центр Ле Алль в Париже [17].

Для Волгограда перспективным является создание подобных комплексов на площади Павших Борцов и в зоне центрального железнодорожного и автовокзала, что позволит комплексно решить проблемы перегрузки улично-дорожной сети и дефицита парковочного пространства в историческом центре. Дополнительно предлагается сооружение двух аналогичных центров на пересечении основных маршрутов скоростного трамвая: под перекрёстком 7-й Гвардейской улицы и проспекта Ленина; вблизи Астраханского моста, на пересечении с улицей Калинина. Данные объекты могут выполнять функции пересадочных узлов, включать торгово-сервисные площадки и подземные парковки, что повысит удобство пользования транспортом и привлекательность прилегающих территорий (рис. 2).

Предлагаемая схема освоения подземного пространства позволит:

- ✓ разгрузить поверхность исторического центра от избыточного транспорта и хаотичной парковки;
- ✓ сохранить и благоустроить исторический ландшафт;
- ✓ обеспечить эффективное использование существующих коммуникаций;
- ✓ создать новые рабочие места и привлечь инвестиции в городскую инфраструктуру;
- ✓ повысить качество жизни горожан и туристическую привлекательность Волгограда.

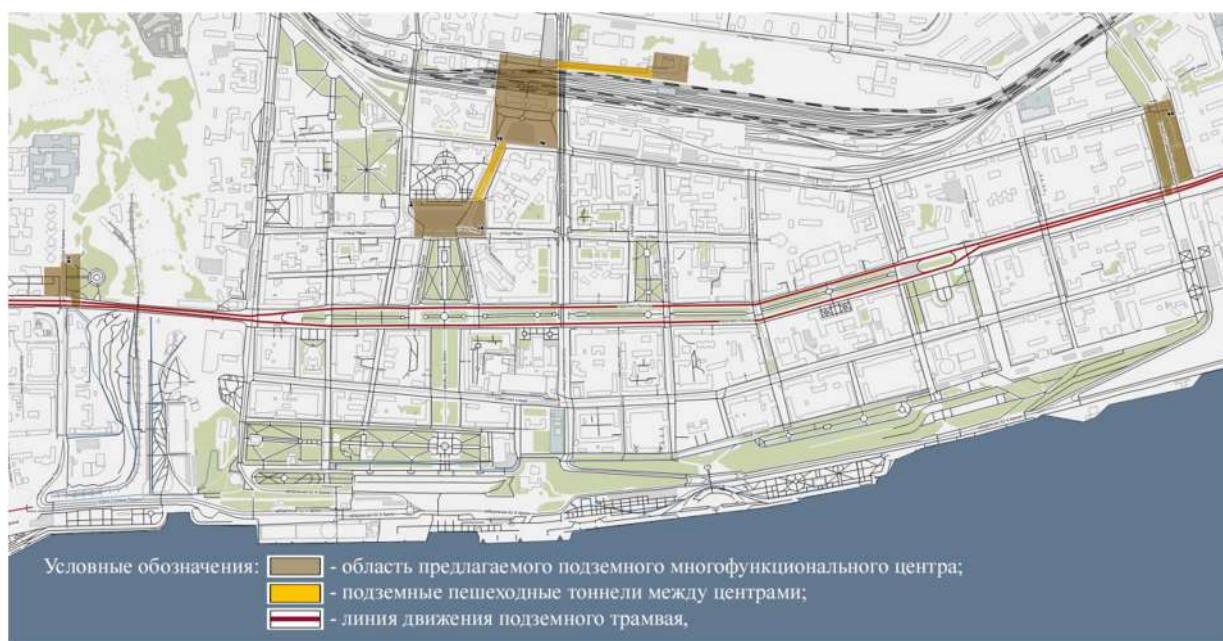


Рис. 2. Схема разработанного предложения по интеграции подземного пространства в ключевые узлы транспортного каркаса исторического центра Волгограда

Заключение.

В результате проведенного исследования разработаны научно-обоснованные принципы интеграции подземного пространства в транспортный каркас крупного линейного города. Предложена классификация функциональных сценариев использования подземного уровня (дублёры магистралей, парковочные хабы, пересадочные узлы).

На примере исторического центра Волгограда выявлены узлы критической перегрузки, проанализированы нормативные, инженерно-геологические и градостроительные ограничения, на основе чего разработаны концептуальные предложения по размещению подземных многофункциональных комплексов, интегрированных с существующей транспортной системой.

Реализация подобных решений позволит существенно повысить устойчивость и эффективность транспортной системы города при сохранении историко-культурной ценности его центральной части.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Владимиров, С. Н.** Транспортные заторы в условиях мегаполиса / С. Н. Владимиров // Известия МГТУ. – 2014. – № 1(19). – С. 77-84.
2. **Харитонов, В. А.** К вопросу о путях решения транспортных проблем городской среды / В. А. Харитонов // Вестник МГСУ. – 2009. – № 3. – С. 71-74.
3. **Винокурова, М. В.** Влияние автомобильно-дорожного комплекса г. Сургут на загрязнение атмосферного воздуха и здоровье населения / М. В. Винокурова, М. В. Винокуров, С. А. Воронин // Гигиена и санитария. – 2015. – № 1. – С. 57-61.
4. **Вагин, В. С.** Проблемы пространственной организации городов с ярко выраженным историческим центром (на примере города Ростова-на-Дону) / В. С. Вагин, С. Г. Шеина, К. В. Чубарова // Вестник евразийской науки. – 2015. – № 3(28). – С. 92.
5. **Амосов, М. И.** Основные проблемы развития транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга и возможные пути их решения / М. И. Амосов, С. С. Сафина // Известия СПбГЭУ. – 2015. – № 5(95). – С. 44-49.
6. **Коростелева, Н. В.** Анализ степени влияния различных факторов на уровень шума городских магистралей / Н. В. Коростелева // Наука и образование: архитектура, градо-

строительство и строительство : материалы Международной конференции, посвященной 60-летию образования вуза: в 2-х частях, Волгоград, 18...19 сентября 2012 года. – Часть I. – Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2012. – С. 190-194.

7. **Лобанов, Е. М.** Транспортные проблемы современных больших городов / Е. М. Лобанов // Транспорт Российской Федерации. – 2005. – Вып. № 1(1). – С. 29-31.

8. **Коростелева, Н. В.** Анализ основных транспортных проблем Волгограда и пути их решения / Н. В. Коростелева // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2015. – Вып. 41(60). – С. 158-168.

9. **Шашкин, А. Г.** Развитие подземного пространства мегаполиса / А. Г. Шашкин, В. Н. Зенцов, В. М. Улицкий // Жилищное строительство. – 2018. – №9. – С. 30-36.

10. **Корчак, А. А.** Опыт использования подземного пространства в крупных городах / А. А. Корчак, И. А. Стоянова // ГИАБ. – 2011. – № 12. – С. 247-251.

11. **Голицынский, Д. М.** Комплексное освоение подземного пространства больших городов / Д. М. Голицынский // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2006. – № 5(5). – С. 92-94.

12. **Попов, А. В.** Подземные комплексы в градостроительстве Урала / А. В. Попов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2008. – №1. – С. 24-29.

13. **Теличенко, В. И.** Состояние и перспективы освоения подземного пространства г. Москвы / В. И. Теличенко, М. Г. Зерцалов, Д. С. Конюхов // Вестник МГСУ. – 2010. – №4-4. – С. 24-36.

14. **Беляев, В. Л.** Освоение подземного пространства как способ охраны исторической среды г. Москвы / В. Л. Беляев // Вестник МГСУ. – 2012. – №8. – С. 6-14.

15. **Калошина, С. В.** Основные предпосылки и сдерживающие факторы в освоении подземного пространства города Перми / С. В. Калошина // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2016. – №3. – С. 78-90.

16. **Кузнецова, С. В.** Инженерно-геологические условия строительства на майкопских глинах Волгограда / С. В. Кузнецова, С. И. Махова // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2017. – №1. – С. 134-147.

17. **Адигамова, З. С.** Освоение подземного пространства как решение проблем урбанизации городов / З. С. Адигамова, Е. В. Лихненко // Многопрофильный университет как региональный центр образования и науки: Материалы всероссийской научно-практической конференции, Оренбург, 20...22 мая 2009 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2009. – С. 4-11.

Поступила в редакцию 28 апреля 2026

INTEGRATION OF UNDERGROUND SPACE INTO THE TRANSPORT FRAME OF LARGE CITIES (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF VOLGOGRAD)

N. V. Korosteleva, I. A. Krasnova, A. A. Dmitrukha

Nataliya Vladimirovna Korosteleva, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Urban Construction, Economics and Project Management, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, tel.: +7(8442)24-81-15; e-mail: korostelevanv@mail.ru

Irina Alekseevna Krasnova, undergraduate student of the Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, tel.: +7(8442)24-81-15; e-mail: ira.krasnova.2000@list.ru

Alina Alexandrovna Dmitrukha, undergraduate student of the Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, tel.: +7(8442)24-81-15; e-mail: alinadmitruha2273@gmail.com

The article is devoted to the problem of integrating underground space into the transport frame of large cities using the example of the historical center of Volgograd. The relevance of the study is due to a critical imbalance between the rapid growth of motorization and the limited capacity of the road network formed in the conditions of historical development. The work revealed the key nodes of the critical overload of the central area of the city. We analyzed the restraining factors for the development of underground space: urban planning (cultural heritage sites, light rail line), geotechnical (landslide processes, high groundwater levels) and regulatory (protected zones, urban planning regulations). Based on the generalization of domestic and foreign experience, we formulated the principles of integration of underground structures: system connectivity, functional polycentricity, complementarity of ground and underground infrastructure, adaptability, consideration of restrictions, comfort and safety. We propose a classification of functional scenarios for the use of the underground level: transport tunnels – relief roads for the withdrawal of transit flows, multi-level interchange nodes integrated with public transport, and underground parking hubs, including intercepting parking at the entrances to the center. We have developed conceptual proposals for the placement of underground multifunctional complexes in the region. The implementation of the proposed scheme will relieve the above ground road network, eliminate the shortage of parking space, preserve the historical and cultural heritage and improve the quality of the urban environment.

Keywords: underground space; underground construction facilities; transport infrastructure; historical center; transport frame.

REFERENCES

1. **Vladimirov S. N.** *Transport congestion in a metropolis*. Bulletin of MSTU. 2014. No. 1(19). Pp. 77-84. (in Russian)
2. **Kharitonov V. A.** *On the question of ways to solve transport problems of the urban environment*. Bulletin of MGSU. 2009. No. 3. Pp. 71-74. (in Russian)
3. **Vinokurova M. V., Vinokurov M. V., Voronin S. A.** *The influence of the road complex of Surgut on atmospheric air pollution and public health*. Hygiene and Sanitation. 2015. No. 1. Pp. 57-61. (in Russian)
4. **Vagin V. S., Sheina S. G., Chubarova K. V.** *Problems of spatial organization of cities with a pronounced historical center (on the example of the city of Rostov-on-Don)*. Bulletin of Eurasian Science. 2015. No. 3(28). Pp. 92. (in Russian)
5. **Amosov M. I., Safina S. S.** *The main problems of the development of transport infrastructure in St. Petersburg and possible ways to solve them*. Bulletin of SPbSEU. 2015. No. 5(95). Pp. 44-49. (in Russian)
6. **Korosteleva N. V.** *Analysis of the influence of various factors on the noise level of urban highways*. Science and education: architecture, urban planning and construction: materials of the international conference dedicated to the 60th anniversary of the university: in 2 parts, Volgograd, September 18-19, 2012. Volume Part I. Volgograd. Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. 2012. Pp. 190-194. (in Russian)
7. **Lobanov E. M.** *Transport problems of modern large cities*. Transport of the Russian Federation. 2005. Issue №1 (1). Pp. 29-31.
8. **Korosteleva N. V.** *Analysis of the main transport problems of Volgograd and ways to solve them*. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2015. Issue 41(60). Pp. 158-168. (in Russian)
9. **Shashkin A. G., Zentsov V. N., Ulitsky V. M.** *Development of the underground space of the metropolis*. Housing construction. 2018. No. 9. Pp. 30-36. (in Russian)
10. **Korchak A. A., Stoyanova I. A.** *Experience in the use of underground space in large cities*. GIAB. 2011. No/ 12. Pp. 247-251. (in Russian)

11. **Golitsynsky D. M.** *Comprehensive development of the underground space of large cities.* Transport of the Russian Federation. Journal of Science, Practice, Economics. 2006. No. 5(5). Pp. 92-94. (in Russian)
12. **Popov A.V.** *Underground complexes in urban planning of the Urals.* Academic Bulletin of UralNIIproekt RAASN. 2008. No. 1. Pp. 24-29. (in Russian)
13. **Telichenko V. I., Zertsalov M. G., Konyukhov D. S.** *State and prospects for the development of the underground space of Moscow.* Bulletin of MGSU. 2010. No. 4-4. Pp. 24-36. (in Russian)
14. **Belyaev V. L.** *Development of underground space as a way to protect the historical environment of Moscow.* Bulletin of MGSU. 2012. No. 8. Pp. 6-14. (in Russian)
15. **Kaloshina S.V.** *The main prerequisites and restraining factors in the development of the underground space of the city of Perm.* Bulletin of PNIPU. Construction and architecture. 2016. No. 3. Pp. 78-90. (in Russian)
16. **Kuznetsova S.V., Makhova S.I.** *Engineering and geological conditions of construction on the Maikop clays of Volgograd.* Bulletin of PNIPU. Construction and architecture. 2017. No. 1. Pp. 134-147. (in Russian)
17. **Adigamova Z. S., Likhnenko E. V.** *Development of underground space as a solution to the problems of urbanization of cities.* Multidisciplinary University as a regional center of education and science: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Orenburg, May 20...22, 2009. Orenburg. Orenburg State University. 2009. Pp. 4-11. (in Russian)

Received 28 April 2026

Для цитирования:

Коростелева, Н. В. Интеграция подземного пространства в транспортный каркас крупных городов (на примере города Волгоград) / Н. В. Коростелева, И. А. Краснова, А. А. Дмитруха // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 2(37). – С. 114-124. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.012.

For citation:

Korosteleva N. V., Krasnova I. A., Dmitrukha A. A. *Integration of underground space into the transport frame of large cities (on the example of the city of Volgograd).* Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 2(37). Pp. 114-124. DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.012. (in Russian)

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.013

УДК 69.059.25:332.024

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ИНТЕГРАЛЬНОЙ К ПОЭЛЕМЕНТНОЙ ОЦЕНКЕ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА

Г. Д. Шмелев, И. С. Буренков, Т. Г. Шмелева

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

Буренков Илья Сергеевич, студент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», тел.: +7(473)271-52-49; e-mail: isburenkov@mail.ru

Шмелева Татьяна Геннадьевна, студент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-52-49; e-mail: tshmeleva@mail.ru

Актуальность исследования обусловлена отменой методики общего физического износа (ВСН 53-86(р)) и введением СП 547.1325800.2025, который предусматривает поэлементную оценку технического состояния конструкций. В работе предложена экономическая модель оценки эффективности капитального ремонта, основанная на дифференцированном учете износа несменяемых и сменяемых элементов здания. Показано, что границы целесообразности капитального ремонта определяются не единым процентом износа здания, а соотношением затрат на ремонт и остаточного срока службы несущих конструкций. Разработан индекс эффективности и выполнены расчеты для типового жилого дома 1961 г. постройки при различных уровнях износа основных конструктивных элементов. Установлены три зоны экономической эффективности: целесообразная (износ стен и фундаментов до 30...40 %), пограничная (40...50 %) и нецелесообразная (более 50...60 %). Показано, что поэлементный подход позволяет более точно распределять ресурсы и избегать неоправданных затрат на ремонт практически неремонтопригодных конструкций. Результаты могут использоваться при формировании региональных программ капитального ремонта.

Ключевые слова: физический износ; капитальный ремонт; экономическая эффективность; несменяемые элементы; сменяемые элементы; восстановительная стоимость; индекс эффективности; жилищный фонд.

Проблема сохранения жилищного фонда России остается одной из наиболее острых социально-экономических задач. Основным инструментом ее решения выступает система капитального ремонта общего имущества многоквартирных домов (МКД), базирующаяся на оценке физического износа конструктивных элементов. Многие годы в качестве основного критерия использовался метод определения общего физического износа здания, регламентированный ВСН 53-86(р). Согласно этому документу, здание признавалось нуждающимся в капитальном ремонте при достижении интегрального износа 30 %, при этом фактический износ несменяемых конструкций (фундаментов, стен) мог не превышать 10...15 %, а сменяемых (кровля, инженерные системы) – достигать 45...50 % [1]. Такой усредненный подход не позволял адекватно оценить реальное техническое состояние отдельных элементов и нередко приводил к нерациональному расходованию средств, направляемых на капитальный ремонт.

С 2025 г. введен в действие СП 547.1325800.2025, отменяющий расчет общего износа и вводящий поэлементную оценку технического состояния с выделением трех категорий необходимости капитального ремонта для каждого конструктивного элемента. Этот переход потребовал пересмотра экономических критериев эффективности, поскольку прежние границы, основанные на усредненных показателях, перестали быть применимыми. Возникший нормативный пробел в области экономического обоснования ремонтных решений требует разработки новых моделей, позволяющих количественно оценить эффективность вложений в зависимости от уровня износа конкретных конструкций.

Цель исследований – разработка и апробация экономико-математической модели эффективности капитального ремонта при поэлементной оценке износа, а также определение границ, за которыми проведение капитального ремонта становится экономически нецелесообразным.

Для достижения цели были поставлены задачи:

- ✓ проанализировать эволюцию нормативных подходов к оценке износа;
- ✓ установить факторы, определяющие стоимость ремонтных работ и остаточный срок службы элементов;
- ✓ построить функцию затрат на ремонт в зависимости от износа;
- ✓ сформировать интегральный индекс эффективности капитального ремонта здания и апробировать модель на примере типового многоквартирного дома (МКД) 1961 года постройки.

Эволюция подходов к оценке износа и формирование потребности в капитальном ремонте.

До недавнего времени основным нормативным документом, регламентировавшим оценку физического износа жилых зданий, являлся ВСН 53-86(р). Его методика опиралась на расчет средневзвешенного износа всех конструктивных элементов с учетом их удельных весов в восстановительной стоимости здания. Такой подход был удобен для долгосрочного планирования, однако обладал рядом принципиальных недостатков.

Во-первых, он нивелировал различия в техническом состоянии элементов с разными сроками службы: при общем износе 30 % кровля или инженерные системы могли быть изношены более чем на 50 %, а несущие стены и фундаменты сохраняли значительный запас прочности.

Во-вторых, показатель общего износа не имел прямой экономической интерпретации: затраты на устранение дефектов отдельного элемента не были пропорциональны его расчетному износу по таблицам ВСН. Это подтверждается многочисленными исследованиями, в которых установлено, что стоимость ремонта при износе 30–40 % может достигать 50...70 % восстановительной стоимости элемента, а при износе 50 % и выше – приближаться к полной замене [2, 3].

Принятие СП 547.1325800.2025 коренным образом изменило ситуацию. Теперь необходимость капитального ремонта определяется для каждого конструктивного элемента отдельно:

- ✓ 1-я категория (износ до 30 %) – ремонт не требуется в ближайшей перспективе;
- ✓ 2-я категория (31...50 %) – требуется плановый ремонт в течение 5 лет;
- ✓ 3-я категория (51...65 %) – необходим приоритетный ремонт в течение 3 лет.

При износе более 65 % обязательно проведение инструментального обследования по ГОСТ 31937-2024 для определения возможности дальнейшей эксплуатации. Такой поэлементный подход, безусловно, более точен и позволяет избежать неоправданных затрат на ремонт еще работоспособных конструкций, однако он же требует новых экономических критериев, увязывающих техническое состояние с эффективностью вложения средств.

Экономическая сущность физического износа и структура затрат на ремонт.

С экономической точки зрения физический износ представляет собой количественную меру утраты стоимости элемента или здания в целом. В соответствии с классическим

определением, данным еще в ВСН 53-86(р), величина износа равна отношению стоимости объективно необходимых ремонтных мероприятий к восстановительной стоимости элемента. Однако, как показали исследования [4, 5], фактическая стоимость ремонта при одном и том же проценте износа может существенно варьироваться в зависимости от вида конструктивного элемента, его доступности, применяемых технологий и региональных цен.

При планировании затрат на капитальный ремонт используются различные подходы: нормативно–статистический, основанный на укрупненных показателях ремонтной сложности (в том числе система ППР); расчетно-аналитический, базирующийся на данных фактического технического состояния и мониторинга; и комбинированный.

Для целей оценки экономической эффективности капитального ремонта наиболее адекватным является расчетно-аналитический метод, позволяющий учесть конкретные дефекты и современные расценки [6, 7]. В рамках этого подхода стоимость ремонта отдельного элемента $C_i^{\text{рем}}(I_i)$ выражается как функция его износа I_i и восстановительной стоимости $C_i^{\text{нов}}$:

$$C_i^{\text{рем}}(I_i) = \begin{cases} k_1 I_i C_i^{\text{нов}}, & 0 \leq I_i \leq I_1 \\ k_1 I_1 C_i^{\text{нов}} + k_2 (I_i - I_1) C_i^{\text{нов}}, & I_1 < I_i \leq I_2, \\ k_1 I_1 C_i^{\text{нов}} + k_2 (I_2 - I_1) C_i^{\text{нов}} + k_3 (I_i - I_2) C_i^{\text{нов}}, & I_2 < I_i \leq I_{\text{max}} \end{cases} \quad (1)$$

где I_1, I_2 – граничные значения износа (например, 0,3 и 0,5); k_1, k_2, k_3 – эмпирические коэффициенты нарастания удельных затрат. Для каменных стен по результатам обобщения сметных данных $k_1 \approx 1,0$, $k_2 \approx 2,0$, $k_3 \approx 3,0$; для деревянных перекрытий и стропильных систем коэффициенты выше, что отражает более быстрый рост стоимости при увеличении повреждений [2, 8].

Критерий целесообразности ремонта отдельного элемента.

Принимая во внимание, что для сменяемых элементов после замены остаточный срок службы практически равен нормативному, условие их экономически оправданного ремонта (замены) упрощается до $C_i^{\text{рем}}(I_i) \leq C_i^{\text{нов}}$, что обычно выполняется при износе до 60...70 %. Для несменяемых элементов (фундаментов, несущих стен) остаточный срок службы $T_i^{\text{ост}}$ после ремонта существенно меньше нормативного и зависит от исходного износа. В простейшей форме эту зависимость можно аппроксимировать степенной функцией:

$$T_i^{\text{ост}}(I_i) = T_i^{\text{норм}} (1 - \alpha I_i^\beta), \quad (2)$$

где для каменных стен $\alpha \approx 1,2$, $\beta \approx 1,5$.

Тогда критерий экономической целесообразности ремонта несменяемого элемента принимает вид:

$$C_i^{\text{рем}}(I_i) \leq C_i^{\text{нов}} \frac{T_i^{\text{ост}}}{T_i^{\text{норм}}}(I_i). \quad (3)$$

Подстановка типичных значений показывает, что для стен и фундаментов критическим является износ в диапазоне 50...60 %, при превышении которого стоимость ремонта приближается к восстановительной стоимости, а остаточный срок службы сокращается до 15...30 лет, что делает ремонт нецелесообразным.

Интегральный индекс эффективности капитального ремонта здания.

Остаточный срок службы здания в целом лимитируется состоянием наиболее изношенного несменяемого элемента. Поэтому

$$T_{\text{зд}}^{\text{ост}} = \min_{i \in U} T_i^{\text{ост}}, \quad (4)$$

где U – множество несменяемых конструкций. Если хотя бы для одного такого элемента износ превышает критический порог $I_{\text{крит}}$ (принятый равным 0,6), капитальный ремонт всего здания признается нецелесообразным.

В противном случае перечень ремонтируемых элементов R формируется из всех конструкций, износ которых превышает минимально допустимый для капитального ре-

монта уровень (обычно 0,3...0,4 в зависимости от вида элемента). Суммарные затраты на капитальный ремонт

$$C_{KP} = \sum_{i \in R} C_i^{\text{рем}}(I_i) + C_{\text{доп}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{доп}}$ – дополнительные затраты (временные здания, авторский надзор, НДС и пр.), оцениваемые в 15...20 % от прямых затрат [9].

Экономическая эффективность капитального ремонта всего здания определяется по индексу

$$E = C_{\text{нов.зд}} \frac{T_{\text{зд}}^{\text{ост}}}{T_{\text{зд}}^{\text{норм}}} - C_{KP}, \quad (6)$$

где $C_{\text{нов.зд}}$ – полная восстановительная стоимость здания (стоимость строительства нового аналога). При $E > 0$ проект считается эффективным, при $E \leq 0$ – неэффективным. Фактически этот индекс сравнивает затраты на ремонт с «амортизированной» стоимостью нового здания, учитывающей разницу в сроках службы.

Практическая апробация на примере МКД 1961 г. постройки.

Для иллюстрации предложенной модели рассмотрен пятиэтажный кирпичный дом II группы капитальности с деревянными перекрытиями и стропильной системой. Восстановительная стоимость 1 м³ наружной кирпичной кладки толщиной 510 мм рассчитана по федеральным единичным расценкам ФЕР 08-02-001 с применением индексов пересчета в текущие цены для Московского региона по состоянию на I квартал 2026 г. (стоимость 1 м³ кладки – 14 617 руб., 1 м² стены – 7 455 руб.). Расчеты выполнены для двух сценариев, отражающих различные уровни накопленного износа.

Сценарий А (реальный износ) характеризуется следующими параметрами: фундаменты – 20 %, стены – 30 %, деревянные перекрытия – 40 %, стропильная система – 40 %, кровля (волнистые асбестоцементные листы) – 50 %.

Все несменяемые элементы находятся в 1-й категории по СП 547.1325800.2025, т.е. не требуют немедленного капитального ремонта. Затраты необходимы только на сменяемые элементы: выборочный ремонт перекрытий и стропил, полная замена кровли

Оценка по сметным данным дает суммарную стоимость ремонта в диапазоне 50...60 % от полной восстановительной стоимости здания $C_{\text{нов.зд}}$. Остаточный срок службы здания, определяемый состоянием стен, составляет не менее 70 лет при нормативном 100 лет. Предельно допустимые затраты на ремонт равны $0,7C_{\text{нов.зд}}$, что превышает фактические, следовательно, индекс эффективности $E > 0$, и капитальный ремонт экономически целесообразен.

Сценарий Б (повышенный износ): фундаменты – 20 %, стены – 40 %, перекрытия – 50 %, стропильная система – 60 %, кровля – 80 %.

В этом варианте стены переходят во вторую категорию (износ 40 %) и требуют значительных вложений: стоимость их усиления оценивается в 65...75 % от восстановительной. При этом остаточный срок службы стен после ремонта не превышает 50...55 лет, тогда как нормативный составляет 100 лет. Суммарные затраты на капитальный ремонт приближаются к 80...85 % от стоимости нового строительства, а индекс эффективности становится отрицательным. Капитальный ремонт в традиционном понимании оказывается экономически нецелесообразным, и дом должен рассматриваться как кандидат на реконструкцию или снос с последующей застройкой.

Ниже представлены промежуточные и окончательные результаты для двух сценариев в табличной форме (табл. 1...4). Все стоимостные показатели даны в рублях в ценах I квартала 2026 г. для Московского региона. Восстановительная стоимость 1 м³ кирпичной кладки – 14 617 руб., 1 м² стены толщиной 510 мм – 7 455 руб. Для удобства анализа все укрупненные показатели приведены также в процентах от восстановительной стоимости нового здания-аналога ($C_{\text{нов.зд}} = 1,0$ или 100 %).

Итоговые удельные стоимости ремонта, использованные в таблицах, представляют собой средневзвешенные величины по каждому элементу для соответствующего уровня

износа и вида ремонта, верифицированные по данным сметных расчетов и судебной практики, проанализированной в [4].

Из приведенных таблиц видно, что в сценарии А резерв эффективности значителен (+46,4 %.), что позволяет уверенно рекомендовать капитальный ремонт. В сценарии Б запас составляет всего +4,6 %, что относит проект к пограничной зоне: любое удорожание материалов или работ способно сделать его убыточным. Следовательно, для дома с износом стен 40 % и выше необходим не стандартный капитальный ремонт, а рассмотрение альтернативных вариантов – реконструкции, модернизации или сноса с последующей застройкой.

Таблица 1

Сценарий А. Исходные данные и промежуточные результаты расчетов

Показатель	Значение показателя для различных элементов здания				
	Фундаменты	Стены	Перекрытия	Стропильная система	Кровля
Износ, %	20	30	40	40	50
Категория по СП 547	1	1	2	2	2
Вид ремонта	Текущий	Текущий	Выборочный КР	Выборочный КР	Полная замена
Восстановительная стоимость элемента, % от $C_{нов.зд}$	8	22	14	10	6
Удельная стоимость ремонта, % от восстановительной стоимости	10	20	35	40	100
Абсолютная стоимость ремонта, % от $C_{нов.зд}$	0,8	4,4	4,9	4,0	6,0
Остаточный срок службы после ремонта, лет	75	70	50	50	30

Таблица 2

Итоговые расчетные показатели сценария А

Показатель	Значение	% от $C_{нов.зд}$
Прямые затраты на КР (сумма по элементам)	20,1 % от $C_{нов.зд}$	20,1
Дополнительные затраты (15...20 % от прямых)	3,5 % от $C_{нов.зд}$	3,5
Суммарные затраты на КР ($C_{КР}$)	23,6 % от $C_{нов.зд}$	23,6
Остаточный срок службы здания (min по несменяемым)	70 лет	—
Нормативный срок службы	100 лет	—
Предельно допустимые затраты = $C_{нов.зд} \times (70/100)$	70,0 % от $C_{нов.зд}$	70,0
Индекс эффективности $E = 70,0...23,6$	+46,4 % от $C_{нов.зд}$	+46,4
Закключение. Капитальный ремонт экономически эффективен.		

Таблица 3

Сценарий Б. Исходные данные и промежуточные результаты расчетов

Показатель	Значение показателя для различных элементов здания				
	Фундаменты	Стены	Перекрытия	Стропильная система	Кровля
Износ, %	20	40	50	60	80
Категория по СП 547	1	2	2	2	3
Вид ремонта	Текущий	Усиление, выборочный КР	Капитальный	Капитальный	Полная замена
Восстановительная стоимость элемента, % от $C_{нов.зд}$	8	22	14	10	6
Удельная стоимость ремонта, % от восстановительной стоимости	10	70	60	80	100
Абсолютная стоимость ремонта, % от $C_{нов.зд}$	0,8	15,4	8,4	8,0	6,0
Остаточный срок службы после ремонта, лет	75	50	50	50	30

Таблица 4

Итоговые показатели сценария Б

Показатель	Значение	% от $C_{нов.зд}$
Прямые затраты на КР (сумма по элементам)	38,6 % от $C_{нов.зд}$	38,6
Дополнительные затраты (15...20 % от прямых)	6,8 % от $C_{нов.зд}$	6,8
Суммарные затраты на КР ($C_{кр}$)	45,4 % от $C_{нов.зд}$	45,4
Остаточный срок службы здания (min по несменяемым)	50 лет	—
Нормативный срок службы	100 лет	—
Предельно допустимые затраты = $C_{нов.зд} \times (50/100)$	50,0 % от $C_{нов.зд}$	50,0
Индекс эффективности $E = 50,0...45,4$	+4,6 % от $C_{нов.зд}$	+4,6
Заключение. Проект находится в пограничной зоне – решение требует детального технико-экономического обоснования.		

Границы экономической эффективности капитального ремонта.

Обобщение результатов расчетов для различных уровней износа несменяемых элементов позволило выделить три зоны экономической эффективности капитального ремонта (табл. 5).

Для сменяемых элементов порог неэффективности наступает при износе более 60...70 %, поскольку их замена является плановой и не сокращает срок службы каркаса здания. Данные границы согласуются с результатами исследований факторов, влияющих на пролонгацию межремонтных сроков, и с оценками организационно-технологического уровня подрядных организаций [10, 11].

Дальнейшие исследования должны быть направлены на уточнение эмпирических коэффициентов модели для различных типов зданий и климатических зон, а также на интеграцию предложенного индекса в автоматизированные системы управления региональными программами капитального ремонта.

Таблица 5

Зоны экономической эффективности капитального ремонта несменяемых элементов

Износ, %	Зона эффективности	Характеристика затрат
0...30	Эффективно	Затраты минимальны, ресурс сохраняется полностью
31...50	Требуется обоснования	Затраты растут до 70 % восстановительной стоимости, необходим расчет остаточного срока службы
> 50	Неэффективно	Стоимость ремонта сопоставима с новым строительством, остаточный ресурс менее 30 лет

Заключение.

Показано, что переход от интегральной оценки физического износа к поэлементной, закрепленный в СП 547.1325800.2025, требует пересмотра экономических критериев эффективности капитального ремонта.

Разработанный индекс эффективности, учитывающий нелинейную зависимость стоимости ремонта от уровня износа и дифференциацию элементов по срокам службы, позволяет избежать финансирования заведомо убыточных проектов капитального ремонта. Практическая значимость подхода подтверждена расчетами для типового жилого дома, которые показали, что при износе каменных стен более 40–50 % традиционный капитальный ремонт теряет экономический смысл.

Предложенная модель дает возможность на этапе предпроектного обследования оценить целесообразность включения дома в региональную программу капитального ремонта и обоснованно распределять бюджетные средства. Она также позволяет ранжировать здания по индексу эффективности, определяя первоочередные объекты для ремонта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Давлетшина, Л. А. Статистический анализ капитального ремонта многоквартирных домов, повышающего энергоэффективность зданий / Л. А. Давлетшина, А. В. Безруков // Вестник университета. – 2021. – № 1. – С. 83-90.
2. Харитонов, В. А. Постановка задачи исследования энергоэффективности при капитальном ремонте многоквартирных домов / В. А. Харитонов, А. Ю. Букалова, З. А. Полеонова // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2022. – № 4. – С. 80-92.
3. Кузьмина, Т. К. Эффективность проведения капитального ремонта многоквартирных жилых домов (МКД) / Т. К. Кузьмина, М. А. Абрегов, Р. А. Виткова // Строительное производство. – 2023. – № 4. – С. 78-84.
4. Макаров, Д. А. Повышение эффективности капитального ремонта зданий (на примере Ивановской области) / Д. А. Макаров, Ю. Е. Острякова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2023. – № 4. – С. 136-140.
5. Лapidус, А. А. Факторы, влияющие на параметры капитального ремонта / А. А. Лapidус, И. Ф. Тельпиз // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 4. – С. 189-192.
6. Четвертков, А. Н. Планирование затрат на проведение ремонтов и показатели оценки результативности ремонтной деятельности / А. Н. Четвертков // Методики. – 2022. – № 84. – С. 66-73.
7. Петросян, Р. С. Формирование организационно-технологического механизма повышения технологичности производства работ при капитальном ремонте зданий / Р. С. Петросян // Строительство: наука и образование. – 2023. – Т. 13. № 1. – С. 84-97.

8. **Баева, О. Н.** Эффективность ремонтного производства: направления повышения и показатели для анализа / О. Н. Баева, Т. А. Кондрацкая, Е. А. Шагина // Экономика и управление: вопросы и решения. – 2023. – № 12. – Т. 3. – С. 78-86.

9. Повышение эффективности организационно–технологического обеспечения системы капитального ремонта на современном этапе / С. Г. Шеина, И. Ю. Зильберова, В. А. Бобкина, Р. Д. Зильберов // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 3(111). – С. 260-270.

10. **Дехтярь, Е. В.** Основные факторы, влияющие на пролонгацию межремонтных сроков многоквартирного дома / Е. В. Дехтярь // Строительное производство. – 2024. – № 1. – С. 56-59.

11. **Маилян, Л. Д.** Организационно–технологический уровень капитального ремонта зданий и сооружений / Л. Д. Маилян, Н. О. Сизен // Вестник СибАДИ. – 2025. – Т. 22. – № 1. – С. 136-147.

Поступила в редакцию 12 мая 2026

ECONOMIC EFFICIENCY OF MAJOR REPAIRS OF APARTMENT BUILDINGS IN THE TRANSITION FROM INTEGRAL TO ELEMENT-BY-ELEMENT ASSESSMENT OF PHYSICAL DEGRADATION

G. D. Shmelev, I. S. Burenkov, T. G. Shmeleva

Gennady Dmitrievich Shmelev, Cand. Sc. (Tech), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-52-49; e-mail: shmelev8@mail.ru

Ilya Sergeevich Burenkov, student of the Department of Landscape Architecture and Soil Science, Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-52-49; e-mail: is-burenkov@mail.ru

Tatiana Gennadievna Shmeleva, student of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-52-49; e-mail: tshmeleva@mail.ru

The relevance of the study is due to the cancellation of the methodology of general physical deterioration (VSN 53-86(r)) and the introduction of SP 547.1325800.2025, which provides for an element-by-element assessment of the technical condition of structures. The paper proposes an economic model for assessing the effectiveness of major repairs, based on the differentiated accounting of the wear and tear of non-replaceable and replaceable building elements. It is shown that the boundaries of the feasibility of major repairs are determined not by a single percentage of the building's wear and tear, but by the ratio of repair costs and the remaining service life of the load-bearing structures. We developed an efficiency index, and performed calculations for a typical residential building constructed in 1961, with different levels of wear and tear on the main structural elements. We established three zones of economic efficiency: expedient (wear and tear of walls and foundations up to 30...40 %), borderline (40...50 %), and inexpedient (more than 50...60 %). We show that the element-by-element approach allows for more precise allocation of resources and avoids unnecessary costs for repairing structures that are almost impossible to repair. The results can be used in the development of regional major repair programs.

Keywords: physical deterioration; major repairs; economic efficiency; non-replaceable elements; replaceable elements; replacement cost; efficiency index; housing stock.

REFERENCES

1. **Davletshina L. A., Bezrukov A. V.** *Statistical analysis of major repairs of apartment buildings that increase the energy efficiency of buildings.* Vestnik universiteta. 2021. No. 1. Pp. 83–90. (in Russian)

2. **Kharitonov V. A., Bukalova A. Yu., Poleonova Z. A.** *Formulation of the problem of studying energy efficiency during major repairs of apartment buildings.* Bulletin of PNRPU. Applied Ecology. Urbanistics. 2022. No. 4. Pp. 80–92. (in Russian)
3. **Kuzmina T. K., Abregov M. A., Vitkova R. A.** *The Effectiveness of Major Repairs of Multi-Dwelling Residential Buildings (MDRBs).* Construction Production. 2023. No. 4. Pp. 78–84. (in Russian)
4. **Makarov D. A., Ostryakova Yu. E.** *Improving the Efficiency of Major Repairs of Buildings (Based on the Example of the Ivanovo Region).* Newsletter of the Universities. Technology of the textile industry. 2023. No. 4. Pp. 136–140. (in Russian)
5. **Lapidus A. A., Telpiz I. F.** *Factors affecting the parameters of capital repairs.* News of Tula State University. Technical Sciences. 2023. No. 4. Pp. 189–192. (in Russian)
6. **Chetvertkov A. N.** *Planning of costs for repairs and performance indicators for repair activities.* Methods. 2022. No. 84. Pp. 66–73. (in Russian)
7. **Petrosian R. S.** *Formation of an organizational and technological mechanism for increasing the technological efficiency of work during major repairs of buildings.* Construction: Science and Education. 2023. Vol. 13. No. 1. Pp. 84–97. (in Russian)
8. **Baeva O. N., Kondratskaya T. A., Shagina E. A.** *Efficiency of repair production: directions for improvement and indicators for analysis.* Economics and Management: Issues and Solutions. 2023. No. 12. Vol. 3. Pp. 78–86. (in Russian)
9. **Sheina S. G., Zilberova I. Yu., Bobkina V. A., Zilberov R. D.** *Improving the Efficiency of Organizational and Technological Support for the Capital Repair System at the Present Stage.* Engineering Bulletin of the Don. 2024. No. 3(111). Pp. 260–270. (in Russian)
10. **Dekhtyar E. V.** *The Main Factors Affecting the Prolongation of Inter-Repair Periods in an Apartment Building.* Construction Production. 2024. No. 1. Pp. 56–59. (in Russian)
11. **Mailian L. D., Sizen N. O.** *Organizational and Technological Level of Capital Repairs of Buildings and Structures.* Bulletin of SibADI. 2025. Vol. 22. No. 1. Pp. 136–147. (in Russian)

Received 12 May 2026

Для цитирования:

Шмелев, Г. Д. Экономическая эффективность капитального ремонта многоквартирных домов при переходе от интегральной к поэлементной оценке физического износа / Г. Д. Шмелев, И. С. Буренков, Т. Г. Шмелева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 2(37). – С. 125–133. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.013.

For citation:

Shmelev G. D., Burenkov I. S., Shmeleva T. G. *Economic efficiency of major repairs of apartment buildings in the transition from integral to element-by-element assessment of physical degradation.* Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 2(37). Pp. 125–133. DOI 10.36622/2541-9110.2026.37.2.013. (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 электронном каталоге «Почта России» ПД039. Физические лица могут оформить подписку на сайте <https://www.pochta.ru/>

Отдельные экземпляры журнала можно приобрести в редакции по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ВГТУ, кафедра жилищно-коммунального хозяйства, каб. 1321.

О наличии необходимого номера можно узнать по телефону +7(473)271-28-92 или по e-mail: vstu.gkh@gmail.com.

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. 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 A4; поля: левое – 3 см, правое – 1,5 см, верхнее – 2 см, нижнее – 2,5 см. Нумерация страниц не требуется. Объём рукописи – от 5 до 10 страниц, включая иллюстрации, таблицы, библиографический список и сведения об авторах.

Структура статьи:

русскоязычная часть:

- ✓ **индекс УДК** – в левом верхнем углу, прописными буквами (шрифт 12 пт, обычный);
- ✓ **название статьи** – прописными буквами с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **инициалы, фамилии авторов**, с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **сведения об авторах**: последовательно для каждого – фамилия, имя, отчество, ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почётные звания не указывать), должность, наименование учреждения, в котором работает автор, город, страна, контактный телефон; e-mail автора, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);
- ✓ **аннотация** объёмом от 200 до 250 слов, выравнивание по ширине, отступ слева и справа 1 см (шрифт 11 пт, обычный);

✓ **ключевые слова** от 5 до 12 слов, указывающие на принципиально важные объекты и особенности исследования, отделяются друг от друга точкой с запятой, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **текст статьи** (в тексте статьи должны быть отражены: актуальность проблемы, оценка степени ее разработанности, цели, задачи и методы решения научной задачи, полученные результаты). В конце статьи обязательно приводится **заключение**.

При оформлении текста статьи следует придерживаться следующих требований:

✓ русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) в тексте, формулах, подписях к рисункам и в таблицах набираются прямым шрифтом; латинские буквы – курсивом;

✓ в статье должен быть необходимый минимум формул, которые:

❖ следует набирать шрифтом Times New Roman в редакторе формул MS Equation или MathType;

❖ начинать с красной строки;

❖ располагать по центру и нумеровать арабскими цифрами в скобках у правого края страницы;

❖ ссылки на формулы в тексте – арабскими цифрами в скобках;

✓ рисунки и таблицы должны быть пронумерованы и добавлены в текст после первого упоминания;

✓ до и после рисунка и таблицы необходимо сделать пробел (шрифт 12 пт);

✓ иллюстрации представляются в редакцию

❖ в виде отдельных файлов (рисунков и фотографий), записанных с расширением .TIFF или .JPEG; линии чертежа – не тоньше 1 пт; иллюстрации, в том числе фотографии, должны иметь хорошую проработку деталей;

❖ подписи к рисункам нумеруются и располагаются под ними, выравнивание текста по центру (шрифт 10 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ таблицы оформляются следующим образом:

❖ шрифт выбирается автором самостоятельно с учетом возможности качественного чтения текста;

❖ наименования в таблицах даются полностью, без сокращения слов;

❖ номер таблицы располагается отдельно, выравнивание текста по правому краю (шрифт 10 пт, обычный);

❖ название таблицы размещается над таблицей, выравнивание текста по центру (шрифт 11 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**, составляемый по следующим правилам;

❖ список используемой литературы должен включать не менее 10 источников;

❖ шрифт 12 пт, выравнивание текста по ширине, абзацный отступ 1 см;

❖ в список включаются *только опубликованные работы*, в порядке упоминания в статье; ссылки на них в тексте статьи даются арабскими цифрами в квадратных скобках;

❖ в списке не должно быть нормативных документов (ГОСТ, СП, технических регламентов, правовых актов и т.п. неавторизованных источников) – ссылки на них даются в тексте статьи в развернутом виде или в форме подстраничных сносок;

❖ библиографические описания оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003; включенные в текст статьи или подстраничные библиографические ссылки следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008;

❖ ссылки на интернет-сайты не допускаются; для статей из зарегистрированных *электронных журналов* указываются фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, выходные данные выпуска, адрес сайта журнала и дата обращения к электронному ресурсу;

англоязычная часть:

✓ **название статьи;**

✓ **инициалы, фамилии авторов**, выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);

✓ **сведения об авторах** – последовательно для каждого: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученые звания, должность, название организации (учреждения), города, страны, контактный телефон; e-mail автора; выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **аннотация:** перевод, идентичный русскому варианту;

✓ **ключевые слова** (Keywords);

✓ **библиографический список** (REFERENCES).

**Поздравляем с юбилеем члена редакционной коллегии журнала
доктора экономических наук, доктора технических наук, профессора,
почетного работника ЖКХ России, почетного работника
Высшего профессионального образования РФ, руководителя направления ЖКХ
(Тамбовский государственный технический университет)**

САВИНА КОНСТАНТИНА НИКОЛАЕВИЧА



Родился 10 февраля 1961 г., в городе Тамбове, образование высшее в 1983 г. закончил Ярославское высшее военное финансовое ордена Красной Звезды училище им. генерала армии А. В. Хрулева, проходил службу в 39-й гвардейской ракетной Глуховской ордена Ленина, Краснознаменной, орденов Суворова, Кутузова и Богдана Хмельницкого дивизии Ракетных войск стратегического назначения, заместителем начальника военных баз Сибирского и Дальневосточного военных округов, заместителем командира батальона, начальником отдела штаба общевойсковой армии, гвардии майор запаса.

После окончания военной службы работал деканом факультета Тамбовского филиала Московского Университета МВД России, профессором кафедры "Менеджмент" Тамбовского государственного технического университета, заместителем Главы администрации г. Глазов, Удмуртской Республики, Председателем лицензионной комиссии Тамбовской области, Председателем координационного совета по вопросам ЖКХ при Главе администрации города Тамбова, начальником управления Государственного жилищного надзора администрации Тамбовской области, Председателем технического комитета (ТК393) Росстандарта РФ, в настоящий момент Президент Ассоциации «ЖКХ-68».

Кандидат экономических наук (2004), доцент (2008), доктор экономических наук (2009), доктор технических наук (2012), профессор (2013). Автор более 250 научных публикаций и 13 национальных стандартов (ГОСТ-Р) в сфере ЖКХ. Подготовил четырех кандидатов экономических наук, в том числе из Китая и Ирака.

Награжден государственными наградами и ведомственными знаками отличия, нагрудным знаком Минстроя России, Почетный работник ЖКХ России, Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, Почетный профессор Тамбовского государственного технического университета.

***Редакционная коллегия журнала
«Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура»
от всей души поздравляет Вас, Константин Николаевич, с юбилеем!
Здоровья, неиссякаемой энергии, новых творческих идей
и успехов в профессиональной деятельности!***



ISSN 2541-9110



26 >

9 772541 911022