

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

ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 3(34), 2025

Воронежский государственный технический университет



*Строительные конструкции,
здания и сооружения*

*Экология и безопасность
городской среды*

*Градостроительство.
Реконструкция, реставрация
и благоустройство*

*Экономика и организация
строительства*

*Инженерные системы
и коммуникации*

*Дорожно-транспортное
хозяйство
и строительная техника*

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 3(34), 2025

**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





ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

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



Издается с 2017 года

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

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

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

Выходит 4 раза в год

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

Журнал публикует материалы по следующим разделам:

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

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

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

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» 81025.

Воронеж



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

Scientific journal

Voronezh State Technical University

Housing and Utilities Infrastructure



The journal has been publishing since 2017

Founder and publisher:

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

Address of the publisher and founder:

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

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

Published 4 times a year

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

Journal publishes materials on the following topics:

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

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

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

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

Voronezh

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

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

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

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

Дизайн обложки: Якубенко А. В. *Фото обложки:* <https://t.me/vrn01>

Редактор переводов: Козлова В. В.

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» 81025.

Дата выхода в свет 31.10.2025. Усл. печ. л. 14,6. Формат 60×84/8. Тираж 34 экз. Заказ № 242

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 – 69631 от 02.05.2017

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

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

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

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Executive Secretary – Mariya Nikolaevna Zherlykina, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Department of Housing and Communal Services (Voronezh State Technical University)

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

Cover design: A. V. Yakubenko *Cover photo:* <https://t.me/vrn01>

Translation editor: V. V. Kozlova

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

Date of publication 31.10.2025. Conventional printed sheets 14,6. Format 60×84/8. Circulation 34 copies. Order 242

Registration certificate III № 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

<i>Шмелев Г. Д., Воробьева Ю. А., Сазонов Э. В.</i>	
Методика оценки механической безопасности несущих строительных конструкций.....	9
<i>Старцев В. Н., Николенко С. Д., Жерлыкина М. Н.</i>	
Мониторинг технического состояния строительной конструкции и фундамента возводимого здания и сооружения.....	18

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

<i>Новосельцев Б. П., Щукина Т. В., Лобанов Д. В.</i>	
Сравнительный анализ способов аэродинамической увязки систем вентиляции.....	28
<i>Руколеев А. В.</i>	
Состояние и перспективы модернизации системы теплоснабжения Бийска.....	37
<i>Лобанов Д. В., Щукина Т. В., Звенигородский И. И., Сафонов С. А.</i>	
Моделирование распределения температуры воздуха в помещении с вытесняющей вентиляцией.....	46
<i>Понявина Н. А., Матушкин В. П.</i>	
Оценка износа технологических трубопроводов и сооружений компрессорной станции под воздействием вибраций и вертикальных перемещений.....	57
<i>Курасов И. С., Щукина Т. В., Иванкин К. А.</i>	
Разработка концепции проектирования систем альтернативного солнечного энергоснабжения производственных зданий с чистыми помещениями.....	64
<i>Пурусова И. Ю.</i>	
Управленческий подход к математическому моделированию работы водозаборов подземных вод.....	75
<i>Помогаева В. В., Григорьев С. В.</i>	
Анализ причин отказа работы насосного оборудования при открытом водоотливе с учетом его обвязки трубопроводами.....	82

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО

<i>Вышлова Д. С., Федоровская А. А.</i>	
Комплексная оценка территории Ростовской области для формирования опорных населенных пунктов.....	92

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

<i>Куrolап С. А., Клепиков О. В., Прожорина Т. И., Суханов П. А.</i>	
Анализ результатов апробации унифицированной методики для комплексной оценки качества источников децентрализованного питьевого водопользования крупного агропромышленного региона.....	104
<i>Акимов Л. М., Акимов Е. Л.</i>	
Оценка тенденций изменения термического режима климата города Воронежа.....	113

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....	125
---	------------

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

Shmelev G. D., Vorobieva Y. A., Sazonov E. V.

Methods for assessing the mechanical safety of load-carrying building structures.....9

Startsev V. N., Nikolenko S. D., Zherlykina M. N.

Monitoring technical condition of the structure and foundation of the building
under construction.....18

ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES

Novoseltsev B. P., Shchukina T. V., Lobanov D. V.

Comparative analysis of methods of aerodynamic connection in ventilation systems.....28

Rukoleev A. V.

State and prospects of heat supply system modernization in the city of Biysk.....37

Lobanov D. V., Shchukina T. V., Zvenigorodsky I. I., Safonov S. A.

Simulation of the air temperature distribution in a room with displacement ventilation.....46

Ponyavina N. A., Matushkin V. P.

Evaluation of wear and tear of process pipelines and compressor station structures
under the influence of vibrations and vertical displacements.....57

Kurasov I. S., Shchukina T. V., Ivankin K. A.

Development of a design concept for alternative solar energy supply systems
for industrial buildings with clean rooms.....64

Purusova I. Yu.

Management approach to mathematical modeling of underground water intake.....75

Pomogaeva V. V., Grigoriev S. V.

Analysis of the reasons for the failure of pumping equipment during open drainage
taking into account its piping system.....82

URBAN PLANNING, RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

Vyshlova D. S., Fedorovskaya A. A.

Comprehensive assessment of the Rostov region for the formation
of supportive settlements.....92

ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

Kurolap S. A., Klepikov O. V., Prozhorina T. I., Sukhanov P. A.

Analysis of the results of the testing of a unified methodology for a comprehensive
assessment of the quality of sources of decentralized drinking water use in a large
agro-industrial region.....104

Akimov L. M., Akimov E. L.

Assessment of trends in the change of the thermal climate regime of the city of Voronezh.....113

WRITING RULES AND GUIDELINES.....125

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.001

УДК 624.078

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НЕСУЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Г. Д. Шмелев, Ю. А. Воробьева, Э. В. Сазонов

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

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

Сазонов Эдуард Владимирович, д-р техн. наук, профессор кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-53-21; e-mail: edsazonov36@yandex.ru

Рассмотрен авторский подход к оценке механической безопасности строительных конструкций зданий, в основу которого положены требования и указания действующих законодательных актов и нормативно-технической литературы. На основании проведенного анализа действующих норм проведена оценка основных граничных значений технического, индивидуального и социального риска, установлено их соответствие категориям технического состояния строительных конструкций, на основе требований к механической безопасности, установленным в статье 7 Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений». Для каждого уровня требований к механической безопасности, предусмотренных в «Техническом регламенте о безопасности зданий и сооружений» проведен анализ выполнения этих требований и мероприятий для их выполнения, включая выполнение соответствующих поверочных расчетов. С опорой на систему действующих государственных стандартов и ранее опубликованных работ авторов предложена методика расчета риска обрушения строительных конструкций с целью получения качественной оценки обеспечения механической безопасности здания или сооружения, учитывающая фактическую поврежденность конструкции, а также индивидуальный и социальный риск аварии на объекте. Предложено на основании требований, изложенных в статье 7 Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений», для каждого уровня требований к механической безопасности проводить количественные расчеты и обоснование механической безопасности эксплуатируемых зданий и сооружений.

Ключевые слова: механическая безопасность; недопустимый риск; строительные конструкции; категория технического состояния; оценка риска.

В Федеральном законе Российской Федерации от 30.12.2008 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» введен термин «механическая безопасность», для которого приводится следующее определение «состояние строительных конструкций и основания здания или сооружения, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений вследствие разрушения или потери устойчивости здания, сооружения или их части». При этом ни в одном нормативно-техни-

© Шмелев Г. Д., Воробьева Ю. А., Сазонов Э. В., 2025

ческом документе нет описания методик расчета риска аварии для эксплуатируемых жилых зданий, вызванной старением строительных конструкций и наступлением аварийного технического состояния основных несущих строительных конструкций зданий или методики оценки непосредственно механической безопасности зданий.

В ГОСТ 31937-2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» описаны основные положения и общая методика проведения обследования технического состояния зданий и сооружений различного назначения (жилые, общественные, промышленные), основанная на измерении контролируемых параметров зданий. При этом, перечень контролируемых параметров, которые требуется измерять при обследовании зданий и сооружений ни в указанном нормативно-техническом документе, ни в других документах, включая справочные и нормативные, до недавнего времени отсутствовал. Автором работы [1] ранее была сделана попытка систематизировать контролируемые параметры для построения прогноза технического состояния строительных конструкций эксплуатируемых зданий различного назначения. В более ранних работах [2, 3] для оценки категорий технического состояния строительных конструкций, выполненных из разных материалов, были даны параметры повреждений и деформаций строительных конструкций, при которых данные исследуемые конструкции следует относить к соответствующим категориям технического состояния (исправная, работоспособная, ограниченно-работоспособная, недопустимая, аварийная).

С выходом в свет СП 454.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные. Правила оценки аварийного и ограниченно-работоспособного технического состояния» появились четкие критерии оценки и перечень контролируемых параметров, при которых те или иные несущие конструкции жилых зданий следует относить к категориям «ограниченно-работоспособная» или «аварийная».

В работах [4...7] авторами сделана попытка оценки риска аварии отдельных строительных конструкций и зданий (сооружений) в целом с учетом основных положений оценки риска, приведенной в приложении Ф к ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» (в настоящее время отменен). При этом следует отметить, что в указанном выше приложении к нормативно-техническому документу и в работах [4...7] поле рисков аварии строительных конструкций зданий и сооружений разделено на три зоны (группы рисков):

- ✓ допустимый (приемлемый или фоновый) риск, при котором не требуется проведение ни каких дополнительных работ и мероприятий по его снижению (верхнее граничное значение равно $5 \cdot 10^{-6}$);

- ✓ повышенный уровень риска, при котором для снижения уровня риска требуется система мер, полнота и сроки реализации которой устанавливаются с учетом экономических и социальных аспектов (граница значений от $5 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-6}$);

- ✓ недопустимый (неприемлемый) риск, при котором требуется срочное принятие мер для его снижения (нижнее граничное значение $5 \cdot 10^{-5}$).

При этом в ГОСТ Р 22.10.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайных ситуаций» предусматривает, следующие виды рисков:

- ✓ допустимый социальный риск чрезвычайных ситуаций на уровне 10^{-5} год⁻¹;
- ✓ недопустимый социальный риск – 10^{-4} год⁻¹;
- ✓ допустимый индивидуальный риск чрезвычайных ситуаций (для Воронежской области $5,72 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹);
- ✓ недопустимый индивидуальный риск ($5,72 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹ – для Воронежской области).

Под социальным риском понимают вероятность гибели на рассматриваемой территории более 10 человек в год, а под индивидуальным – гибель одного человека в год.

Обращает на себя внимание тот факт, что для оценки технического состояния строительных конструкций в СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» принято шесть категорий (нормативный уровень, исправное, работоспособное, ограниченно работоспособное, недопустимое и аварийное). В ГОСТ 31937-2024 рассматриваются уже только четыре категории технического состояния (нормативное, работоспособное, ограниченно-работоспособное, аварийное).

При этом, для оценки риска аварий на объектах капитального строительства, используется всего три уровня: допустимый (приемлемый или фоновый), повышенный и недопустимый (неприемлемый).

Детальное рассмотрение нормативного технического состояния, с точки зрения терминологии ГОСТ 31937-2024, означает, что «количественные и качественные значения параметров всех критериев оценки технического состояния строительных конструкций здания (сооружения), включая состояние грунтов основания, соответствует установленным в проектной документации значениям и действующим нормам на момент обследования». Как показывает практика достигнуть полного соответствия вновь построенного объекта всем критериям проектной документации и действующим нормам удается крайне редко, так как всегда имеются определенные отклонения. Если же начать рассматривать здания и сооружения, построенные по старым нормативно-техническим документам, то получить соответствие количественных и качественных критериев контролируемых параметров современным нормам невозможно в принципе по двум причинам:

- ✓ произошло изменение действовавших на момент проектирования и строительства здания норм (причем иногда значительно);
- ✓ в процессе эксплуатации строительные конструкции объекта (здания или сооружения) начали деградировать (стареть).

В работе [8] также отмечается, что для зданий старой постройки, запроектированных по предыдущим версиям нормативно-технических документов, или если оцениваемый в техническом состоянии строительный объект (здание или сооружение) эксплуатировался десятки лет, применение к нему категории технического состояния – «исправное» неприменимо.

Таким образом, получаем, что из четырех категорий технического состояния, по факту при проведении работ по обследованию зданий и сооружений различных лет постройки и различного назначения применимы могут быть только три: работоспособная, ограниченно-работоспособная и аварийная. По своей сути этим категориям четко соответствуют уровни риска: допустимый (приемлемый или фоновый), повышенный, недопустимый (неприемлемый) (таблица).

Сопоставление категорий технического состояния
строительных конструкций и групп риска

№ группы	Категория технического состояния по ГОСТ 31937-2024	Группа риска
1	Работоспособное	Допустимый (приемлемый или фоновый) риск, при котором не требуется проведение никаких дополнительных работ и мероприятий по его снижению.
2	Ограниченно-работоспособное	Повышенный уровень риска, при котором для снижения уровня риска требуется система мер, полнота и сроки реализации которой устанавливаются с учетом экономических и социальных аспектов.
3	Аварийное	Недопустимый (неприемлемый) риск, при котором требуется срочное принятие мер для его снижения.

Анализ определений категорий технического состояния, приведенных в таблице, показывает, что механическая безопасность оказывается однозначно обеспеченной для категории технического состояния – «работоспособное». Для категории технического состояния «ограниченно-работоспособная» механическая безопасность обеспечивается проведением необходимых мероприятий по восстановлению или усилению конструкций, что достаточно точно коррелирует с определением повышенного уровня риска. В случае «аварийного» технического состояния возникает случай недопустимого риска.

Для более точного понимания термина «механическая безопасность» рассмотрим требования, предъявляемые к строительным конструкциям и основаниям зданий (сооружений), изложенные в Федеральном законе Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (статья 7 «Требования механической безопасности» главы 2 «Общие требования безопасности зданий, сооружений, процессов, осуществляемых на всех этапах жизненного цикла»). В соответствии с указанной выше статьей, строительные конструкции и основания зданий и сооружений должны обладать такой прочностью и устойчивостью, чтобы в любой момент времени не возникало никакой опасности в результате:

- ✓ разрушения отдельных несущих строительных конструкций и их частей;
- ✓ разрушения всего здания, сооружения или их части;
- ✓ деформации недопустимой величины строительных конструкций, основания здания или сооружения и геологических массивов на прилегающей территории;
- ✓ повреждения части здания или сооружения, сетей инженерно-технического обеспечения в результате деформации, перемещений либо потери устойчивости несущих строительных конструкций, в том числе отклонений от вертикальности.

Рассмотрим подробно каждый из этих пунктов требований.

Невозможность разрушения отдельных несущих строительных конструкций или их частей может быть определена только на основании выполнения поверочных расчетов этих конструкций или их частей. При этом разрушение будет теоретически невозможно при условии, что прочность конструкции (правильнее говорить о ее несущей способности), рассчитанной с учетом фактических параметров конструкции (геометрических, физико-механических и др.) будет обеспечена с некоторым запасом.

Невозможность разрушения всего здания, сооружения или их части может быть доказана только на основании машинного расчета с использованием специальных программ («ЛИРА» «SCAD» и других), обеспечивающих возможность построения пространственной модели здания и выполнения расчетов с учетом возможности прогрессирующего обрушения. При выполнении таких расчетов на стадии обследования технического состояния в расчетную схему здания вводятся, выявленные в ходе обследования дефекты и повреждения или ослабления конструкций. Если расчет здания, с учетом введенных в его расчетную схему ослаблений, дефектов и повреждений, не показывает появления в отдельных конструкциях или узлах напряжений, превышающих прочностные параметры материалов конструкций, то следует считать, что разрушение невозможно. Вторым параметром, учитываемым в таких расчетах, являются перемещения узлов расчетной модели. Если расчетные перемещения узлов не выходят за допустимые пределы, то следует считать, что разрушение здания, сооружения или отдельных их частей невозможно. В случае если на исследуемом объекте отсутствуют аварийные конструкции или конструкции, имеющие значительные повреждения, то выполнение такого рода расчетов может быть признано нецелесообразным (избыточным).

Появление деформаций недопустимой величины строительных конструкций, основания здания или сооружения может быть определено визуально в ходе проведения обследования с использованием как простейших измерительных инструментов, так и с использованием геодезических приборов. Перечень и критические значения деформаций различных строительных конструкций зданий, характерных для ограниченно-

работоспособного и аварийного технических состояний, приведены в таблицах СП 454.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные. Правила оценки аварийного и ограниченно-работоспособного технического состояния». Оценку деформаций геологических массивов на прилегающей к зданию (сооружению) территории можно выявить только в результате длительных геодезических наблюдений за территорией. На практике последний метод по факту, для зданий нормального и пониженного уровня ответственности, не используется ввиду большой длительности и высокой стоимости такого рода наблюдений (геодезический мониторинг). Такого рода наблюдения могут быть установлены за уникальными зданиями и сооружениями, если такой вид наблюдений предусмотрен проектной документацией на объект.

Повреждения части здания или сооружения, сетей инженерно-технического обеспечения в результате деформации, перемещений либо потери устойчивости несущих строительных конструкций, в том числе отклонений от вертикальности могут быть выявлены в ходе проведения предварительного (визуального) этапа работ по обследованию здания. При этом величины деформаций и перемещений строительных конструкций следует устанавливать в соответствии с таблицами СП 454.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные. Правила оценки аварийного и ограниченно-работоспособного технического состояния». Потеря устойчивости несущих строительных конструкций должна быть четко зафиксирована, в том числе и на фотографиях, при этом необходимо установить вид потери устойчивости: полная или местная (локальная). Следует отметить, что местная или локальная потеря устойчивости характерно в основном для стальных конструкций, в то время как общая потеря устойчивости может наблюдаться в стальных деревянных и железобетонных конструкциях. Причина потери устойчивости строительной конструкции должна быть проанализирована и доказана соответствующим поверочным расчетом. На основании анализа и поверочного расчета должна быть установлена наиболее вероятная причина потери устойчивости конкретной конструкции.

Только на основании выполнения всех четырех проверок для строительных конструкций и здания в целом может быть сделан вывод о соблюдении требований механической безопасности. В случае невыполнения одной из проверок следует говорить о несоответствии объекта требованиям механической безопасности.

Возвращаясь к определению категорий фактического технического состояния зданий следует обратить внимание на справочные приложения В...Д к ГОСТ 31937-2024, в которых приведены наиболее характерные дефекты железобетонных и каменных конструкций, стальных и деревянных конструкций. При этом для каждого дефекта (повреждения) в таблице приводятся не только количественные и качественные характеристики, но и указывается, что для установления ограниченно-работоспособного или аварийного технического состояния требуется обоснование расчетами и оценка влияния выявленных дефектов и повреждений на работу конструкции.

Проведение поверочных расчетов, как указывается в п. 13.3 ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения», и их анализ должны выполняться на основе результатов обследования по действующим нормативно-техническим документам. Ранее действовавшие нормы могут учитываться только как справочные материалы.

Группа риска обрушения строительной конструкции здания или сооружения может быть оценена на основании использования ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 «Менеджмент риска. Методы оценки риска» и ГОСТ 58771-2019 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска». Автором работы [9] предложен более простой способ, не учитывающий большого количества факторов риска, но значительно упрощающий процесс вычислений. Порядок оценки риска аварии строительной конструкции или конструктивного элемента, на основании проведенных исследований может быть представлен следующей последовательностью:

✓ в соответствии с таблицами ВСН 53-86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий» оцениваем показатели физического износа конструкции (объекта) на момент времени проведения оценки;

✓ с использованием формулы (1) оцениваем продолжительность службы конструкции до величины физического износа в 60 %;

✓ полученному значению продолжительности службы конструкции сопоставляем предельное значение вероятности отказа ($8,333 \cdot 10^{-5}$);

✓ определяем значение вероятности отказа на момент времени проведения оценки по формуле (2);

✓ по формуле (3) вычисляем теоретическое значение риска аварии и сравниваем его с нормативными значениями риска и делаем выводы о дальнейшей эксплуатации конструкции или объекта и необходимости выполнения ремонтных работ.

Все расчетные формулы приведены ниже.

$$T = \frac{t \cdot (\exp(0,125 \cdot f) + F)}{\exp(0,125 \cdot f) - 1}, \quad (1)$$

где T – полная прогнозируемая продолжительность эксплуатации строительной конструкции или объекта в целом до получения максимального износа F ; t – текущее время, равное сроку эксплуатации конструкций здания или сооружения, в годах; f – текущий показатель физического износа строительной конструкции на момент проведения обследования, в %; F – предельное значение физического износа по таблицам ВСН 53-86(р) на уровне нижнего предела аварийного технического состояния, в % (для большинства конструкций износ равен 70...80 %).

$$P(t) = 1 - (8,333 \cdot 10^{-5}) \cdot t \quad (2)$$

$$R(t) = P(t) \cdot C \quad (3)$$

где $P(t)$ – вероятность наступления аварии в момент времени t ; C – относительный ущерб (отношение стоимости ущерба к стоимости объекта). В работе [9], рекомендуется значение принимать равным 60 %, хотя более правильно было бы использовать в этом случае текущее значение физического износа в %.

Полученное значение риска показывает только технический риск обрушения исследуемой конструкции. Полное значение риска аварии следует определять с учетом нахождения в зоне обрушения людей, и в зависимости от количества человек использовать одну из следующих формул:

$$\sum R(t) = R(t) + R_i \cdot n \quad (4)$$

$$\sum R(t) = R(t) + R_s \quad (5)$$

где $\sum R(t)$ – сумма технического и индивидуального или социального рисков; R_i – значение недопустимого индивидуального риска для конкретного региона по ГОСТ Р 22.10.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайных ситуаций»; n – количество людей в зоне риска, при их количестве до 10 человек; R_s – недопустимое значение социального риска (при количестве людей в зоне риска более 10 человек) по ГОСТ Р 22.10.02-2016.

Итоговое значение по одной из формул (4) или (5) требуется сравнить со значением недопустимого (неприемлемого) риска и сделать соответствующий вывод о механической безопасности конструкции и здания (сооружения) в целом.

Предлагаемая методика оценки риска аварии строительной конструкции может быть рассмотрена как предварительная качественная оценка механической безопасности строительных конструкций здания или сооружения. А четыре этапа оценки требований, предъявляемых к механической безопасности по Федеральному закону Российской Федерации от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», изложенные в настоящей статье, следует выполнять для получения точной количественной оценки механической безопасности.

Заключение.

Рассмотрены вопросы, связанные с понятием механической безопасности строительных конструкций зданий и сооружений с учетом контролируемых критериев оценки технического состояния и контроля уровня риска возможного обрушения (аварии) строительных конструкций.

Выполнен анализ применимости различных категорий технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений при проведении технических обследований.

Проведено сопоставление категорий технического состояния группам (уровням) риска достижения аварийного состояния строительных конструкций с точки зрения критериев механической безопасности.

Осуществлен детальный анализ требований к механической безопасности, с точки зрения их выполнения при проведении обследования технического состояния строительных объектов.

На основании ранее опубликованных работ предложен упрощенный подход к оценке риска обрушения строительных конструкций с учетом индивидуального и социального рисков, которые могут возникнуть при обрушении строительных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Шмелев, Г. Д.** Систематизация определяющих параметров для прогноза остаточного срока службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев // Вестник МГСУ. – 2013. – № 8. – С. 89-96.
2. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. Атлас схем и чертежей / А. И. Мальганов, В. С. Плевков, А. И. Полищук // Томск. Томский межотраслевой ЦНТИ. – 1990. – 316 с.
3. **Ремнев, В. В.** Обследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений: учебное пособие для вузов ж-д транспорта / В. В. Ремнев, А. С. Морозов, Г. П. Тонких. – Москва: Маршрут, 2005. – 196 с.
4. **Шмелев, Г. Д.** Оценка технического риска по устойчивости на опрокидывание зданий и сооружений / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков, Ю. А. Воробьева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 9-17.
5. **Федотова, М. И.** Оценка риска обрушения здания или его части по величинам контролируемых кренов и осадок / М. И. Федотова, Г. Д. Шмелев, А. В. Жукова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 1(24). – С. 9-17.
6. **Шмелев, Г. Д.** Теоретические предпосылки оценки технического риска для строительных конструкций эксплуатируемых объектов / Г. Д. Шмелев, Э. В. Сазонов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 3(26). – С. 9-16.
7. **Федотова, М. И.** Прогноз риска аварии несущих строительных конструкций на основе расчета снижения несущей способности / М. И. Федотова, Г. Д. Шмелев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 2(21). – С. 30-37.
8. **Перельмутер, А. В.** Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций: научное издание / А. В. Перельмутер. – Москва: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2007. – 256 с.
9. **Шмелев, Г. Д.** Использование показателей физического износа для оценки вероятности и риска наступления аварийного технического состояния строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений / Г. Д. Шмелев // Инженерные решения. Научный журнал. – 2019. – № 1(2). – С. 36-39.

Поступила в редакцию 21 апреля 2025

METHODS FOR ASSESSING THE MECHANICAL SAFETY OF LOAD-CARRYING BUILDING STRUCTURES

G. D. Shmelev, Y. A. Vorobieva, E. V. Sazonov

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

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

Eduard Vladimirovich Sazonov, Dr. Sc. (Tech.), Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-53-21; e-mail: edsazonov36@yandex.ru

The article considers the authors' approach to assessing the mechanical safety of building structures, which is based on the requirements and instructions of current legislation and regulatory and technical literature. Based on the analysis of the current standards, we assessed the main boundary values of technical, individual and social risk. We as well established their compliance with the categories of technical condition of building structures, based on the requirements for mechanical safety established in Article 7 of the Federal Law of December 30, 2009, No. 384-FZ *Technical Regulations on the safety of buildings and structures*. For each level of mechanical safety requirements stipulated in the *Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures*, we analyzed the fulfillment of these requirements and measures for their implementation, including the implementation of appropriate verification calculations. Based on the system of current state standards and our previously published works, we propose a methodology for calculating the risk of collapse of building structures. The methodology is needed to qualitatively assess the mechanical safety of a building or structure, taking into account the actual damage to the structure, as well as the individual and social risk of an accident at the facility. On the basis of the requirements set out in Article 7 of the Federal Law of December 30, 2009, No. 384-FZ *Technical Regulations on the Safety of Buildings and structures*, we proposed to carry out quantitative calculations and justification of the mechanical safety of operated buildings and structures for each level of mechanical safety requirements.

Keywords: mechanical safety; unacceptable risk; structures; categories of technical condition; risk assessment.

REFERENCES

1. **Shmelev G. D.** *Systematization of defining parameters for predicting the remaining service life of building structures*. Bulletin of MGSU. 2013. No. 8. Pp. 89-96. (in Russian)
2. **Malganov A.I., Plevkov V. S., Polishchuk A. I.** *Restoration and reinforcement of building structures of emergency and reconstructed buildings. Atlas of diagrams and drawings*. Tomsk, Tomsk Intersectoral Scientific Research Institute. 1990. 316 p. (in Russian)
3. **Remnev V. V., Morozov A. S., Tonkikh G. P.** *Inspection of the technical condition of building structures of buildings and structures. Textbook for universities of railway transport*. Moscow. 2005. 196 p. (in Russian)
4. **Shmelev G. D., Ishkov A. N., Vorobyeva Yu. A.** *Assessment of technical risk on stability to overturning of buildings and structures*. Housing and communal services and communal infrastructure. 2024. No 4(31). Pp. 9-17. (in Russian)
5. **Fedotova M. I., Shmelev G. D., Zhukova A.V.** *Assessment of the risk of collapse of a building or its part by the values of controlled rolls and precipitation*. Housing and communal infrastructure. 2023. No 1(24). Pp. 9-17. (in Russian)

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

7. **Fedotova M. I., Shmelev G. D.** *Forecast of the risk of an accident of load-bearing building structures based on the calculation of a decrease in bearing capacity*. Housing and communal infrastructure. 2022. No 2(21). Pp. 30-37. (in Russian)

8. **Perelmuter A.V.** *Selected problems of reliability and safety of building structures. Scientific publication*. Moscow, Publishing House Association of Construction Universities, 2007. 256 p. (in Russian)

9. **Shmelev G. D.** *The use of physical wear indicators to assess the probability and risk of an emergency technical condition of building structures of operated buildings and structures*. Engineering solutions. Scientific Journal. 2019. No 1(2). Pp. 36-39. (in Russian)

Received 21 April 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Шмелев, Г. Д. Методика оценки механической безопасности несущих строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, Ю. А. Воробьева, Э. В. Сазонов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 3(34). – С. 9-17. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.001.

FOR CITATION:

Shmelev G. D., Vorobieva Y. A., Sazonov E. V. *Methods for assessing the mechanical safety of load-carrying building structures*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 3(34). Pp. 9-17. DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.001. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.002

УДК 69.059.14

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ И ФУНДАМЕНТА ВОЗВОДИМОГО ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

В. Н. Старцев, С. Д. Николенко, М. Н. Жерлыкина

Старцев Владимир Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(903)420-65-95; e-mail: vnstar@yandex.ru

Николенко Сергей Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(910)244-41-59; e-mail: nikolenkorpbl@yandex.ru

Жерлыкина Мария Николаевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: mzherlykina@cchgeu.ru

Обоснована актуальность мониторинга технического состояния строительной конструкции и фундамента здания на этапе возведения объекта. Проведена оценка работоспособности фундаментов различными методами с выявлением целесообразности дальнейшего ведения работ. Выполнено комплексное натурное исследование технического состояния свайных фундаментов на примере здания спортивно-оздоровительного комплекса с плавательным бассейном в г. Борисоглебске Воронежской области. Выявлены ошибки изысканий с анализом причин появления и предложены пути их устранения. Определены действительные диапазоны геометрических характеристик свай – длина по результатам контроля методом ультразвуковых (сейсмических) волн, медианная длина свай, проектная длина проконтролированных свай, и выполнено сопоставление минимальной длины сваи для погружения до расчетной отметки с условиями и требованиями нормативной документации. Установлено, что испытание несущей способности существующих свай нецелесообразно ввиду несоответствия требованиям норм по минимальной глубине погружения свай в несущий (непросадочный) слой грунта. Выполнена оценка технического состояния свайного основания для объекта исследования, характеризующая его как аварийное, дальнейшее возведение здания на существующем свайном основании не допускается. Представлена рекомендация к выполнению устройства дублирующего свайного поля, с отступом от существующих свай на расстояние, обеспечивающее минимальные требования норм из условия расстояний между сваями, а также с учётом технических возможностей подрядной организации и условий примыкания к существующему зданию. Подтверждена возможность повышения информативности и достоверности выводов о состоянии свайных конструкции на основании комплексного обследования с использованием сейсмоакустики.

Ключевые слова: свайный фундамент; обследование; акустический метод диагностики; техническое состояние

Потеря качества строительных конструкций при их возведении связана с дефектами, которые возникают из-за ошибок проектирования, нарушений технологии строительства или использования некачественных материалов. Эти проблемы могут привести к снижению прочности и безопасности объекта, повышенным расходам на ремонт.

Несмотря на строгие требования, предъявляемые при строительстве объектов различного назначения, актуальным остается вопрос обеспечения надежности строительных конструкций.

Оценка технического состояния строительной конструкции на этапах строительства здания позволяет своевременно выявить недостатки и ошибки производства и предотвратить нежелательные последствия.

Существует большое количество методов оценки технического состояния строительной конструкции в период строительства [1]. Наряду с достоинствами по своевременному обнаружению дефекта строительной конструкции, большинство из них имеют ряд недостатков. Например, геодезические методы дают данные только на момент измерений и не предоставляют постоянной информации о динамике поведения конструкции. Для определения величин нагрузок, напряжений и деформаций в конструкциях с помощью технических средств измерений используются вибрационные датчики напряжений, которые размещают в фундаментной плите, а также в стенах, пилонах и колоннах зданий. Метод считается эффективным при ведении исследования непрерывно в автоматическом режиме. При динамическом методе исследования применяются измерительные устройства, позволяющие получить картину состояния конструкции и полный спектр информации об особенностях динамики зданий и сооружений. Однако, отмечается высокая эффективность применения перечисленных методов при обследовании существующего здания.

Важно предотвратить введение в эксплуатацию зданий с низкой надежностью строительных конструкций, что возможно при качественной оценке технического состояния на этапе строительства.

Для выявления наиболее рационального решения выполнены экспериментальные исследования оценки технического состояния строительной конструкции методом неразрушающего контроля, в частности, ультразвуковой метод для определения скрытых дефектов конструкций.

Научные изыскания по исследуемому вопросу направлены на все элементы строящегося объекта. При этом следует подчеркнуть, что фундаменты являются важным конструктивным элементом зданий [2]. В процессе возведения объектов капитального строительства подрядчиками, определёнными по результатам проведения конкурсных процедур, нередко возникает ситуация, когда квалификация исполнителей работ не соответствует уровню сложности объекта. При этом качество выполненных ими работ зачастую сложно оценить без привлечения специализированных организаций. Устройство свайного поля на объектах капитального строительства несомненно относится к таким видам работ, проверка качества которых представляет собой важную и достаточно сложную задачу [3].

Всё большее распространение при обследовании железобетонных и металлических свайных конструкций получают геофизические методы, основанные на анализе распространения упругих волн. Железобетонные сваи в силу особенностей геометрии и контраста акустических свойств бетона и прилегающего грунта демонстрируют различные волноводные свойства, что учитывается при анализе колебательных процессов [4]. Текущее состояние исследования возможности и ограничения сейсмоакустического метода обследования свайных фундаментов представлены в [2, 5...7]. Акустические методы диагностики строительных конструкций и фундаментов разделяются на низкочастотные, анализирующие отклик конструкции на импульсное воздействие, и высокочастотные, работающие с резонансными явлениями и направленными волнами [8...11].

Исследование направлено на своевременное выявление недостатков при возведении строительных конструкций и фундаментов для обеспечения надежности и долговечности объекта, которое включает в себя оценку технического состояния свайных фундаментов с целью определения возможности продолжения строительных работ на существующем свайном поле, аварийности и полной непригодности к возведению здания на нём.

В качестве объекта исследования выбрано здание спортивно-оздоровительного комплекса с плавательным бассейном в г. Борисоглебске Воронежской области. Строительство второго этапа объекта начато в сентябре 2023 г. Предполагалось возведение здания для размещения плавательного бассейна размером 25×16 метров на 6 дорожек. По объём-

но-планировочному решению здание зального типа трёхэтажное (с учётом подвала), сложной конфигурации в плане, составленное из прямоугольных объёмов. Размеры в осях 11-20 – 47,75 м; в осях А/1-Ж/1 – 50,50 м. Высота помещений с монолитными перекрытиями 3,30 м. Высота в помещении бассейна 7,0 м. Отметка верха кровли +11,710 м.

По конструктивной схеме здание каркасное. Каркас комбинированный: колонны и перекрытия монолитные железобетонные; несущие конструкции покрытия – стальные фермы с системой вертикальных и горизонтальных связей. Колонны каркаса сплошного сечения 600×400 мм и 400×400 мм. Толщина монолитных плит перекрытия 200 мм. Фермы покрытия стальные сварные трапецеидального очертания с шарнирным опиранием по верхнему поясу из гнуто-сварных труб. Пролёт ферм 28 м, высота в коньке 3,91 м.

На период проведения исследования выполнено устройство котлована и свайного поля. Головы свай срублены и частично не вывезены из котлована. При замерах срубленных голов свай установлено, что срубленные головы свай, находящиеся в котловане в количестве нескольких десятков, имеют длину 3,2...4,3 м.

Площадка имеет следующие особенности в гидрогеологическом отношении:

- ✓ ниже почвенно-растительного слоя площадка сложена просадочными полутвёрдыми среднепросадочными (ИГЭ-2) и слабопросадочными (ИГЭ-3) суглинками мощностью слоя 1,2...2,2 и 3,1...5,0 м соответственно. ИГЭ-2 и ИГЭ-3 по степени проявления просадки относятся к I типу;

- ✓ подземные воды вскрыты на глубине 7,0...7,5 м с питанием горизонта за счёт инфильтрации атмосферных осадков;

- ✓ грунтовые воды не агрессивны по отношению к маркам бетона по водонепроницаемости W4-W12;

- ✓ по критериям типизации территорий по подтопляемости площадка относится к постоянно подтопленным территориям, согласно приложению «И» СП 11-105-97, часть II.

Установлена проходка просадочных грунтов сваями с погружением свай в непросадочные грунты ИГЭ-4, ИГЭ-5 на глубину 3,22...4,02 м. Свайное поле выполнено в виде кустов свай и отдельных свай под колонны каркаса, стены и чашу бассейна. Период устройства свайного поля: сентябрь...октябрь 2023 г. Для устройства свайного поля применены сваи С80.30-6 в количестве 295 шт. (№1-№295) и С100.30-6 в количестве 10 шт. (№296-№305). Допускаемая нагрузка на сваю по грунту основания в соответствии с расчётами, выполненными в составе проектной документации:

- ✓ для свай С100.30-6: $N=49,5$ т (485,6 кН);

- ✓ для свай С80.30-6: $N=29,2$ т (286,45 кН);

- ✓ расчётная нагрузка на сваю $N'=19$ т (186,45 кН).

Для свай визуальным обследованием¹² определялось наличие или отсутствие следующих повреждений:

- ✓ состояние поверхности бетона (шелушение, расслоение);

- ✓ наличие раковин, каверн и участков поверхности с низким качеством уплотнения бетонной смеси;

- ✓ соответствие количества свай в кустах, расположения кустов и отдельных свай;

- ✓ толщина защитного слоя бетона в местах обнажения арматуры по местам сруба голов;

- ✓ наличие, тип и расположение арматуры в местах выпусков;

- ✓ состояние голов по поверхности срубки свай.

Установлено, что количество и расположение свай соответствует нормативным требованиям, за исключением свай вдоль фундамента существующего здания спортивного

¹ ГОСТ 31937-2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»

² СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений»

комплекса. Также отмечается, что около 90 торцов свай имеют сколы и разрушения в местах срубов голов существенно превышающие допустимые³.

Для обнаружения дефектов строительных конструкций (трещин, дефектов соединений) применена сейсмоакустическая диагностика – это метод проверки железобетонных и буронабивных свай на стойкость и безопасность. При проведении исследования выполнен контроль длины и сплошности свай. Контроль свай выполнен методом ультразвуковых волн, основанным на регистрации параметров упругих волн, возбуждаемых в сваях с помощью ударного импульса. Удар наносится специальным молотком по торцу сваи. Волна распространяется по стволу сваи с некоторой скоростью V , частично отражаясь от границ раздела сред с разным акустическим импедансом (бетон-грунт, бетон-трещина). Отражённые волны возвращаются к верху сваи и регистрируются датчиком ускорения (акселерометром), установленном на торце сваи.

Длина сваи H , м, определяется косвенным методом, исходя из измеренного прибором времени Δt , с, при этом скорость распространения волны в свае V , м/с, считается известной:

$$H = \frac{V \cdot \Delta t}{2}.$$

На рис. 1 показана схема расположения свай, проконтролированных сейсмоакустическим методом.

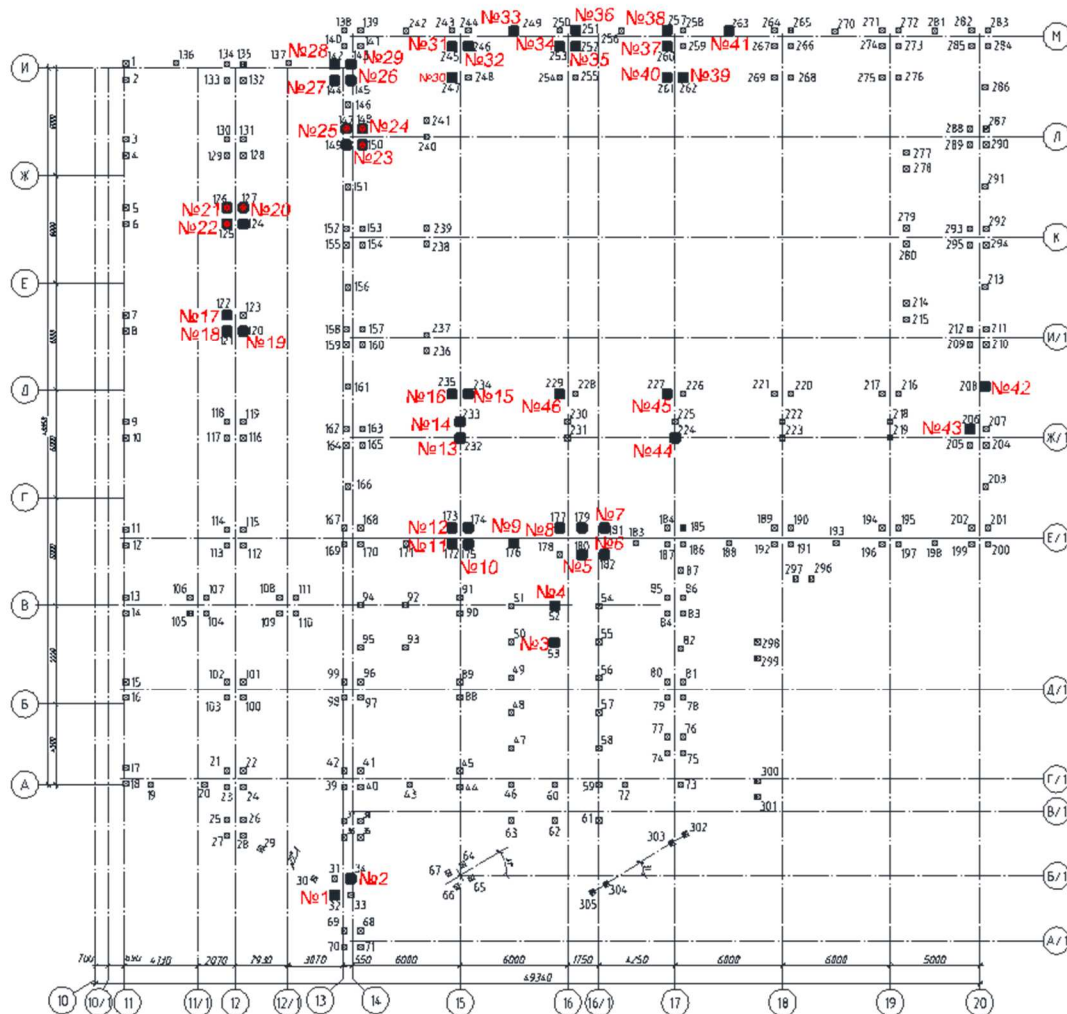


Рис. 1. Схема расположения свай, исследованных сейсмоакустическим методом

³ СП 45.13330.2017 «Земляные сооружения, основания и фундаменты»

Контроль свай выполнен прибором диагностики свай СПЕКТР-4.31 зав. №В487, изготовленным ООО НПП «Интерприбор», г. Челябинск. Пределы допускаемой относительной погрешности измерения интервалов времени $\pm 5\%$. Диапазон показаний длины свай от 1 до 80 м. Предварительно на торцах свай были выровнены горизонтальные площадки для постановки датчика и нанесения ударов.

В рамках исследования свайного поля использовался способ определения скорости сигнала в свае с использованием свай известной длины. В качестве свай известной длины приняты срубленные части (головы) свай. Корректирование скорости распространения сигнала осуществлено до совпадения фактической длины свай с длиной свай по показаниям прибора. Фактическая средняя скорость распространения сигнала в свае по результатам измерений на трёх фрагментах свай длиной 2,8 м, 4,2 м, 3,07 м составила $V=3520$ м/с.

На рис. 2 и рис. 3 показаны рефлектограммы для отдельных свай. На рис. 2 показана рефлектограмма контрольной сваи 1 (срубленной части свай) фактической длиной 2,8 м, а на рис. 3 показана рефлектограмма испытания сваи №1 (№32) для определения ее длины. В целях оценки достоверности формы получаемых сигналов, принимаемых для получения усреднённой рефлектограммы нанесены от 5 до 10 ударов по каждой контролируемой свае.

Большая часть проконтролированных свай после срубки голов имеет длину близкую к 4,0 м (медианная длина), что существенно меньше проектной длины свай после срубки голов 7,5 м. Данные контроля свай методом ультразвуковых волн косвенно подтверждаются длинами срубленных голов, находящихся в котловане.

Исследование прочности бетона железобетонных конструкций произведено двухпараметрическим ударно-импульсным измерителем прочности «ОНИКС-2,5»⁴, диапазон измерений прочности прибором от 1 до 100 МПа, пределы основной относительной погрешности измерения прочности $\pm 8,0\%$.

Натурные исследования поверхностной прочности бетона выполнены на участках предварительно очищенной поверхности железобетонных конструкций. Схема мест контроля прочности бетона приведены на рис. 4.

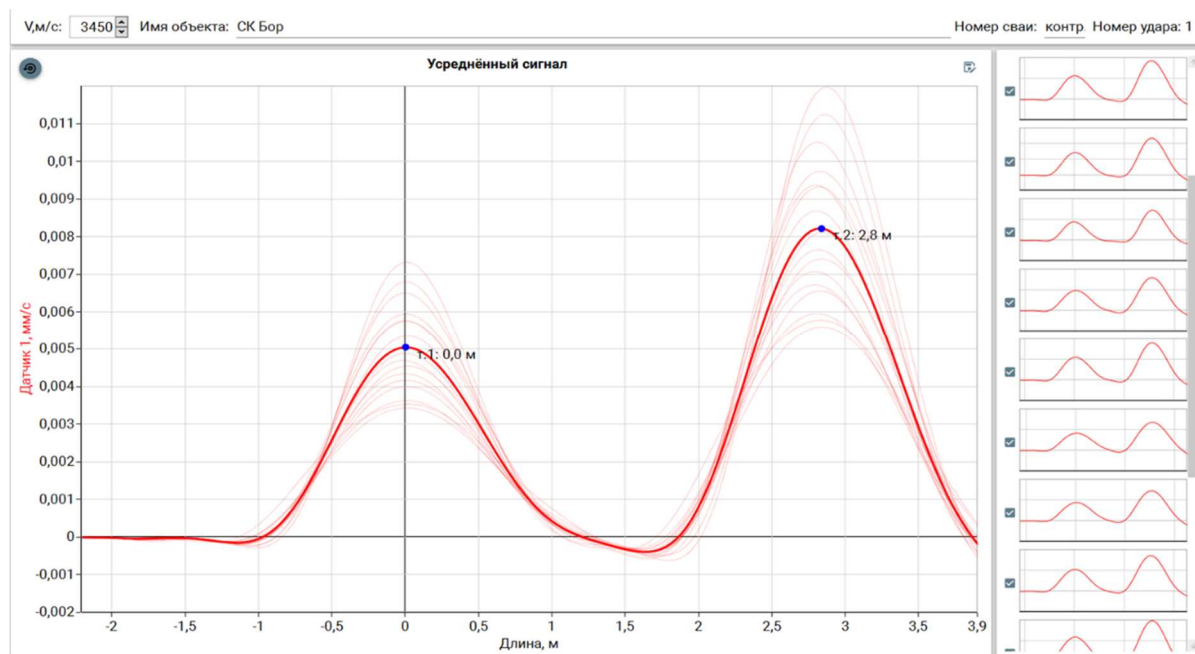


Рис. 2. Рефлектограмма контрольной сваи 1 (срубленной части свай) фактической длиной 2,8 м (скорость сигнала в свае $V_1=3450$ м/с)

⁴ГОСТ 22690-2015 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля»

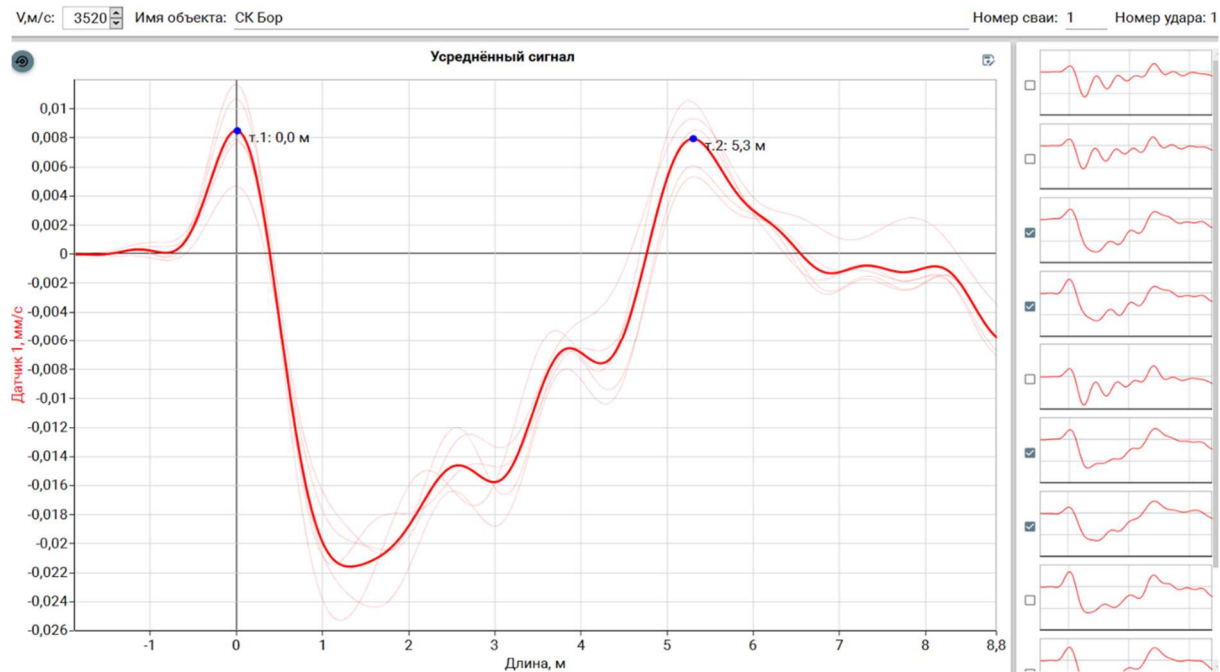


Рис. 3. Рефлектограмма испытания сваи №1

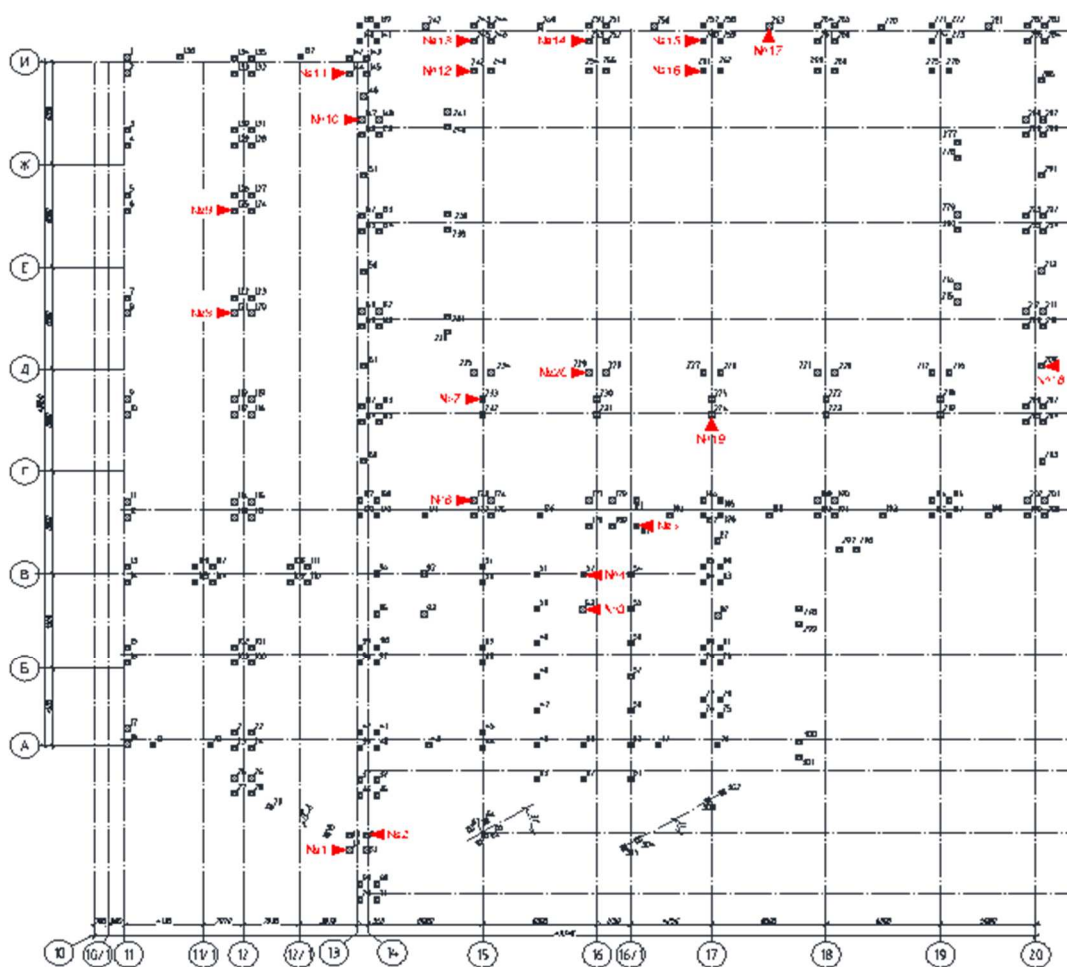


Рис. 4. Схема мест контроля прочности бетона

При проведении эксперимента за единичное значение прочности бетона принималась средняя прочность на участке конструкции, определяемая как среднее значение из десяти измерений. Измерения проводились по предварительно скорректированной по ме-

тоду отрыва со скалыванием градуировочной зависимости. Результаты измерений сведены в таблицу.

Результаты измерений прочности бетона

Наименование конструкции	Средняя прочность бетона, МПа	Коэффициент вариации, %	Фактический класс бетона свай по прочности, МПа	Класс бетона для свай С80.30-6, С100.30-6 по серии 1.011.1-10 вып. 1
Железобетонные сваи	30,69...36,27	≤13,5	B25...B30	B20

При анализе результатов исследования выполнено сопоставление материалов инженерно-геологических изысканий, проектной документации и полученной медианной длины свай (4,0 м), в результате выявлено, что сваи по всей длине ствола находятся в пределах слоя просадочного грунта (рис. 5). Следует отметить, что при наличии грунтов I типа по просадочности, нижние концы свай должны быть заглублены в скальные грунты, пески плотные и средней плотности и глинистые грунты с показателем текучести в водонасыщенном состоянии $IL < 0,6^5$. При этом заглубление свай в несущий слой грунта должно быть не менее 1,0 м, т.е. до отм. 93,90 по данным инженерно-геологического разреза. Указанным условиям соответствуют 3 сваи из 46 испытанных (длина свай должна быть $\geq 5,50$ м). Длина свай не удовлетворяет требованиям⁵, что делает нецелесообразным проведение испытаний свай статической нагрузкой для определения фактической несущей способности.

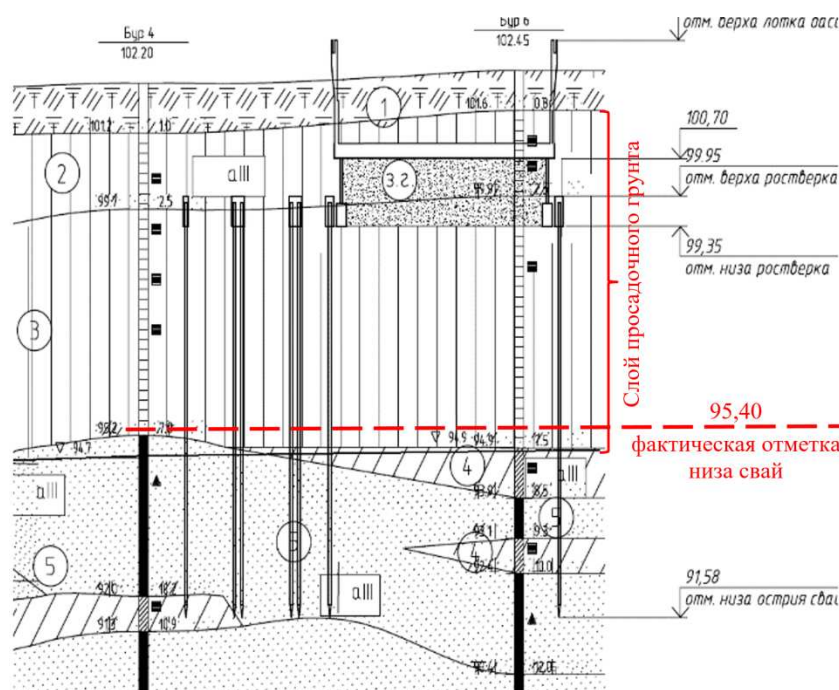


Рис. 5. Фактическая отметка низа условной свай медианной длины выше границы окончания просадочной толщи

Таким образом, метод неразрушающего контроля для оценки технического состояния возводимой строительной конструкции позволяет выявить критические дефекты, в частности, если несущая способность по материалу свай на сжимающую нагрузку не превышает 70 т, а несущая способность свай по грунту определена с учётом расчётных (заниженных до заданной обеспеченности) характеристик грунта и при вдавливании свай

⁵ СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты»

возникают случайные эксцентриситеты очевидно, то сваи С100.30-6 начнут разрушаться до погружения.

Заключение.

При исследовании технического состояния строительной конструкции и фундамента объекта незавершенного строительства кроме визуального и измерительного контроля, испытания бетона конструкций неразрушающим методом, рекомендуется к применению сейсмоакустический метод. Совокупность представленных методов контроля позволяет провести комплексное исследование свайного поля на предмет наличия дефектов, соответствия прочностных характеристик бетона документации на сваи, наличия скрытых дефектов в сваях, а также соответствия фактических длин свай и отметок их погружения проекту.

Установлено, что на основании результатов исследования с применением комплекса методов возможно выполнить с высокой точностью оценку технического состояния свайного поля и определить его непригодность для дальнейшего строительства. Как следствие, предотвратить разрушение, аварийность, недолговечность строительной конструкции на этапе возведения здания и сооружения.

Таким образом, подтверждена целесообразность совместного использования комплекса сейсмоакустических методов, информативность которых существенно повышается при включении в анализ данных, полученных на этапах изучения априорной информации, визуального обследования и применения прямых методов исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Старцев, В. Н.** Оценка влияния работоспособности фундаментов на надежность строительных конструкций зданий / В. Н. Старцев, С. Д. Николенко, М. Н. Жерлыкина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 1(32). – С. 30-38. – DOI 10.36622/2541 9110.2025.32.1.003.
2. Обследование свайных фундаментов при надстройке зданий / А. В. Улыбин, С. В. Зубков, С. Д. Федотов, А. Ю. Закревский // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – №4. – С.17-27. – doi: 10.5862/MCE.48.3.
3. Новые системы наблюдения и контроля дефектов и повреждений строительных конструкций / С. И. Евтушенко, Т. А. Крахмальный, В. В. Фирсов, В. А. Лепихова, М. А. Кучумов // Строительство и архитектура. – 2020. – Том 8. – Выпуск 1(26). –С. 11-18. – DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2020-8-1-11-18>.
4. **Капустин, В. В.** Техническая геофизика. Методы и задачи / В. В. Капустин, М. Л. Владов // Геотехника. – 2020. – № 4. – С. 72-85. – DOI: 10.25296/2221-5514-2020-12-4-72-85.
5. **Капустин, В. В.** К вопросу о физических основах акустического метода испытания свай / В. В. Капустин // Инженерные изыскания. – 2011. – № 11. – С. 10-15.
6. **Чуркин, А. А.** Анализ динамических свойств акустического сигнала для сравнительной оценки контактных условий свай / А. А. Чуркин, В. В. Капустин // Геотехника. – 2020. – Т. 12. – № 3. – С. 56-68. – DOI: 10.25296/2221-5514-2020-12-3-56-68.
7. **Чуркин, А. А.** О возможностях вспомогательных методик сейсмоакустического обследования свайных фундаментов / А. А. Чуркин // Вестник НИЦ Строительство. – 2023. – Т. 36. – № 1. – С. 59-71. – DOI: 10.37538/2224-9494-2023-1(36)-59-71.
8. **Sajid, S.** Impulse response test for condition assessment of concrete: A review / S. Sajid, L. Chouinard // Construction and building materials. – Vol. 211. – 2019. – Pp. 129-140. – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.174.

9. **Sajid, S.** Defect detection in concrete plates with impulse-response test and statistical pattern recognition / S. Sajid, A. Taras, L. Chouinard // *Mechanical Systems and Signal Processing*. – Vol. 161. – No. 107948. – 2021. – DOI: 10.1016/j.ymssp.2021.107948.

10. **Володин, Г. В.** Анализ колебаний фундаментных плит для оценки контакта с грунтами / Г. В. Володин, В. В. Капустин // *Геотехника*. – 2021. – Т. 13. – № 4. – С. 64-79. – DOI: 10.25296/2221-5514-2021-13-4-64-79.

11. **Чуркин, А. А.** Оценка условий контакта конструкций с грунтовым массивом по атрибутам нормированного акустического отклика / А. А. Чуркин, А. Ю. Хмельницкий, В. В. Капустин // *ОФМГ*. – 2022. – № 5. – С. 17-21.

Поступила в редакцию 28 сентября 2025

MONITORING TECHNICAL CONDITION OF THE STRUCTURE AND FOUNDATION OF THE BUILDING UNDER CONSTRUCTION

V. N. Startsev, S. D. Nikolenko, M. N. Zherlykina

Vladimir Nikolaevich Startsev, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(903)420-65-95; e-mail: vnstar@yandex.ru

Sergey Dmitrievich Nikolenko, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(910)244-41-59; e-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru

Marya Nikolaevna Zherlykina, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: mzhherlykina@cchgeu.ru

First of all, we substantiate the importance of monitoring the technical condition of a structure and foundation during construction. We assessed the foundation performance using various methods, with the feasibility of further work being identified. We conducted comprehensive in-kind studies of the technical condition of pile foundations using the example of a sports and fitness complex with a swimming pool in the town of Borisoglebsk, Voronezh Region. We identified survey errors, their causes and remedial measures. We determined the actual ranges of pile geometric characteristics – length, based on ultrasonic (seismic) wave testing, median pile length and design length of the tested piles. Minimum pile length for driving to the design elevation was compared with the conditions and requirements of regulatory documentation. We determined that testing the bearing capacity of existing piles is impractical due to their non-compliance with regulatory requirements for the minimum pile penetration depth into the load-bearing (non-subsidence) soil layer. We assessed technical condition of the pile foundation for the study site, characterizing it as unsafe; further construction of the building on the existing pile foundation is not permitted. We made a recommendation to construct a duplicate pile field, setting it back from the existing piles by a distance that ensures the minimum regulatory requirements for the distances between piles, taking into account the technical capabilities of the contractor and the conditions of the adjoining structure to the existing building. We confirmed the possibility of increasing the information content and reliability of conclusions on the condition of pile structures based on a comprehensive survey using seismic acoustics.

Keywords: pile foundation; survey; acoustic diagnostic method; technical condition of the structure.

REFERENCES

1. **Startsev V. N., Nikolenko S. D., Zherlykina M. N.** *Assessment of the impact of foundation operability on the reliability of building structures.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 1(32). Pp. 30-38. DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.003. (in Russian)
2. **Ulybin A. V., Zubkov S. V., Fedotov S. D., Zakrevsky A. Yu.** *Inspection of pile foundations during building superstructures.* Journal of Civil Engineering. 2014. No. 4. Pp. 17-27. doi: 10.5862/MCE.48.3. (in Russian)
3. **Evtushenko S. I., Krakhmalny T. A., Firsov V. V., Lepikhova V. A., Kuchumov M. A.** *New systems for monitoring and controlling defects and damage to building structures.* Construction and architecture. 2020. Volume 8. Issue 1(26). Pp. 11-18. DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2020-8-1-11-18>. (in Russian)
4. **Kapustin V. V., Vladov M. L.** *Technical Geophysics. Methods and Problems.* Geotechnics. 2020. No. 4. Pp. 72-85. DOI: 10.25296/2221-5514-2020-12-4-72-85. (in Russian)
5. **Kapustin V. V.** *On the Physical Foundations of the Acoustic Method of Testing Piles.* Engineering Surveys. 2011. No. 11. Pp. 10-15. (in Russian)
6. **Churkin A. A., Kapustin V. V.** *Analysis of the Dynamic Properties of the Acoustic Signal for Comparative Assessment of Pile Contact Conditions.* Geotechnics. 2020. Vol. 12. No. 3. Pp. 56-68. DOI: 10.25296/2221-5514-2020-12-3-56-68. (in Russian)
7. **Churkin A. A.** *On the Possibilities of Auxiliary Methods for Seismoacoustic Survey of Pile Foundations.* Bulletin of the Scientific Research Center Construction. 2023. Vol. 36. No. 1. Pp. 59-71. DOI: 10.37538/2224-9494-2023-1(36)-59-71. (in Russian)
8. **Sajid S., Chouinard L.** *Impulse response test for condition assessment of concrete: A review.* Construction and building materials. 2019. Vol. 211. Pp. 129-140. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.174.
9. **Sajid S., Taras A., Chouinard L.** *Defect detection in concrete plates with impulse-response test and statistical pattern recognition.* Mechanical Systems and Signal Processing. 2021. Vol. 161. No 107948. DOI: 10.1016/j.ymssp.2021.107948.
10. **Volodin G. V., Kapustin V. V.** *Analysis of foundation slab vibrations to assess contact with soils.* Geotechnics. 2021. Vol. 13. No. 4. Pp. 64-79. DOI: 10.25296/2221-5514-2021-13-4-64-79. (in Russian)
11. **Churkin A. A., Khmel'nitsky Yu., Kapustin V. V.** *Assessment of the conditions of contact of structures with a soil massif based on the attributes of the normalized acoustic response.* OFMG. 2022. No. 5. Pp. 17-21. (in Russian)

Received 28 September 2025

Для цитирования:

Старцев, В. Н. Мониторинг технического состояния строительной конструкции и фундамента возводимого здания и сооружения / В. Н. Старцев, С. Д. Николенко, М. Н. Жерлыкина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 3(34). – С. 18-27. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.002.

FOR CITATION:

Startsev V. N., Nikolenko S. D., Zherlykina M. N. *Monitoring technical condition of the structure and foundation of the building under construction.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 3(34). Pp. 18-27. DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.002. (in Russian)

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES

DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.003

УДК 697.911

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ УВЯЗКИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

Б. П. Новосельцев, Т. В. Щукина, Д. В. Лобанов

Новосельцев Борис Петрович, 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: belebey36@mail.ru

Щукина Татьяна Васильевна, 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: schukina.niki@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

Наладка и испытание систем вентиляции относятся к достаточно трудоемким производственным процессам, поэтому в отсутствии высокопрофессиональных навыков существует вероятность некачественного выполнения работ. Достичь транспортировки проектных расходов воздуха по участкам сетей, снизив дополнительные затраты на установку регулирующих клапанов, можно различными техническими решениями, исключая влияние уровня подготовки монтажников. В статье рассмотрены три способа: применение при необходимости воздухопроводов с ненормируемыми диаметрами; составление ответвлений с постоянным расходом воздуха из участков с разной площадью поперечного сечения; установка конфузоров для повышения потерь давления. Приведены результаты аэродинамического расчета для каждого из трех способов, показана их эффективность при достижении увязки потерь давления по ответвлениям. Сформулированы рекомендации по области применения рассмотренных способов аэродинамической увязки.

Ключевые слова: система вентиляции; расход воздуха; регулирование; аэродинамическая увязка.

Нормируемые и поддерживаемые в энергоэффективном режиме метеорологические условия в помещениях зависят от производительности приточно-вытяжных систем, организации подачи обработанного наружного воздуха в рабочую зону и дальнейшего удаления загрязненного, а также от возможностей вторичного использования теплоты вентиляционных выбросов. Все перечисленное, безусловно, оказывает влияние на расход ресурсов системами обеспечения комфортной среды, поэтому остановимся, прежде всего, на первой и главной причине возможного несоответствия воздушно-тепловых режимов требуемым показателям микроклимата.

Изменения в производительности систем вентиляции, в том числе и по отдельным участкам сетей, не поддерживаемые проектными характеристиками, могут привести к развитию двух ситуаций.

Первая ситуация: при заниженных объемах воздушных масс образуются невентилируемые зоны, в которых параметры отклоняются от допустимых значений, ограниченных санитарно-гигиеническими нормами. Более критичные последствия для воздушной среды возникают при уменьшении расходов удаляемого воздуха местными отсосами, что отражается на повышении концентрации вредных веществ в рабочей зоне.

© Новосельцев Б. П., Щукина Т. В., Лобанов Д. В., 2025

Вторая ситуация: при завышенной производительности приточно-вытяжных систем происходит перерасход энергоресурсов, что в конечном итоге приводит к росту эксплуатационных затрат и снижению класса эффективности здания.

Как первая ситуация, так и вторая часто возникают при некачественном выполнении пуско-наладочных работ [1] без доведения до проектных значений подаваемых и удаляемых объемов воздуха.

Отклонения от требуемых расходов по участкам сетей являются следствием значительной разветвленности воздухопроводов [2], размеры поперечных сечений которых выбираются в результате проведения аэродинамического расчета в соответствии со стандартным сортаментом. Указанное условие подбора приводит к погрешности, поэтому для вентиляционных систем и отдельных их ответвлений допускаются невязки ограниченного диапазона [3].

Например, отклонения расхода воздуха от проектных значений после регулировки систем возможны в пределах $\pm 8\%$ от расчетных для общеобменной вентиляции и $+8\%$ – для местной [4], ГОСТ 34060-2017 «Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Испытание и наладка систем вентиляции и кондиционирования воздуха», СП 73.13330.2016 «Внутренние санитарно-технические системы зданий. СНиП 3.05.01-85 (с Изменением N 1)». Если при проведении аэродинамического расчета вентиляционной сети невязка превышает допустимую величину, то для достижения проектных расходов воздуха на рассматриваемых участках вводят дополнительные сопротивления, увеличивающие потери давления. В качестве таких устройств используют диафрагмы [4], в том числе конусные, и воздушные клапаны шиберного или дроссельного типа [5]. Последние устройства являются стандартными элементами вентиляционной сети и устанавливаются с соблюдением правил и технических регламентов [5], что приводит к незначительному удорожанию систем вентиляции и к необходимости дальнейшего их обслуживания. Использование диафрагм сокращает дополнительные расходы по сравнению с применяемыми клапанами, но для их подбора необходимо соблюдать строгую точность в расчетах так, чтобы посредством этих простых местных сопротивлений полностью погасить избыточное располагаемое давление для какого-либо ответвления.

Установка диафрагм, особенно с регулируемым сечением, должна сопровождаться замерами динамического давления в воздухопроводах и определением фактического расхода воздуха на участках [4]. Необходимая пропускная способность воздушных клапанов, в том числе при имеющемся расчетном показателе положения створок, достигается так же посредством проводимых замеров с последующей фиксацией требуемого свободного сечения для прохода воздуха [2, 5].

Выполнение указанных операций, как в первом, так и во втором случаях сопровождается дополнительными трудозатратами, и поэтому при значительной разветвленности сетей требуется достаточно много времени для измерений и регулирования. Последовательность их проведения входит в совокупность работ по наладке и испытанию вентиляционных систем, в результате которых должны быть достигнуты расчетные расходы по каждому участку и элементам вентиляционной сети [6, 7].

Наладку систем начинают с эмпирического определения и сопоставления с проектными объемами перемещаемого воздуха при полностью открытых регулирующих устройствах. Посредством измерений и последующих изменений свободного сечения в воздушных клапанах, расположенных на участках, достигаются требуемые показатели для перемещаемой среды по сети воздухопроводов. На этом этапе работы выполняют два монтажника: один наладчик размещает датчик динамического давления или датчик скорости движения среды и фиксирует показания прибора, а другой открывает или закрывает клапан, изменяя площадь живого сечения. После того, как на участке воздухопровода будет достигнут требуемый расход, положение регулирующих створок закрепляют. Такую не слож-

ную, но трудоемкую последовательность действий проводят на всех ответвлениях вентиляционной сети, а затем измеряют общий расход воздуха на головном участке.

Выполняемая наладка систем достаточно продолжительна по времени, что в условиях ограничения сроков ввода в эксплуатацию может отразиться на качестве работ и, соответственно, на расхождении значений фактических и проектных расходов.

Наряду с этим, аэродинамическая увязка потерь давления в вентиляционной сети, а в итоге поддержание на каждом участке требуемых объемов транспортируемого воздуха могут быть выполнены и другими методами без дополнительных затрат времени на завершающем этапе испытаний.

Рассмотрим возможные варианты технических решений, исключающих регулирование расходов воздуха и позволяющих снизить дополнительные как трудозатраты, так и денежные расходы, на конкретном примере системы приточной вентиляции (рис. 1), обслуживающей производственные помещения.

Первый способ – использование воздухопроводов поперечного сечения, не включенного в стандартные рекомендуемые размеры.

В соответствии с выполненными расчетами по требованиям СП 60.13330.2020. «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» сумма потерь давления на участках 1, 2, 3 (рис. 1) составляет 191 Па, она является располагаемым давлением для участка 7 в точке разветвления (т. А.). При определении потерь давления для участка воздухопровода под № 7, приведенном в табл. 1, невязка превысила допустимые значения, поэтому необходимо увеличить его сопротивление.

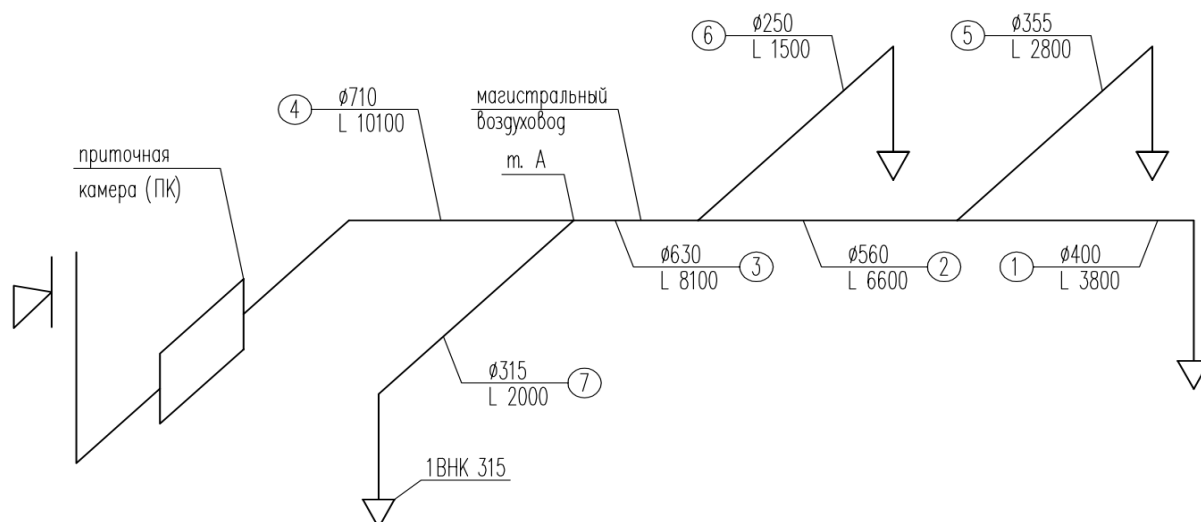


Рис. 1. Расчетная схема приточной системы вентиляции:

ПК – стандартная приточная установка;

1ВНК 315 – воздушораспределитель низкоскоростной фирмы «Арктос»

Рассмотрим возможность доведения потерь давления на участке 7 до требуемых показателей посредством применения меньшего поперечного сечения. При использовании воздухопровода диаметром 300 мм, не включенного в стандарты изготовления, невязка составила 1,56 % (табл. 1). При достижении такого показателя расход воздуха будет соответствовать проектируемому значению и наладка не потребует.

Таблица 1

Аэродинамический расчет участков приточной системы вентиляции

№ участка	Расход, $L, \text{ м}^3/\text{ч}$	Длина участка, м	Скорость воздуха, $V, \text{ м/с}$	Диаметр воздуховода, $d, \text{ мм}$	Удельные потери давления, $R_{уд}, \text{ Па}$	Потери давления, Rl , Па	Динамическое давление, $P_d, \text{ Па}$	Сумма коэффициентов местных сопротивлений, $\Sigma \xi$	Потери давления, Z , Па	$Rl+Z, \text{ Па}$
Расчет потерь давления на участке 7 при использовании нормируемых диаметров										
Располагаемое давление в точке разветвления ($m. A$) составляет 191 Па										
7	2000	5	7,2	315	1,84	9,2	31,7	3,6	114,12	123,32
Воздухораспределитель										40
										$\Sigma 163,32$
Расхождение давлений $\frac{191-163,32}{191} \cdot 100 = 18,3 \%$, что превышает допустимое значение										
Расчет потерь давления на участке 7 при использовании не нормируемых диаметров, в данном случае размером 300 мм										
7	2000	5	7,9	300	2,8	14	37,4	3,6	134,64	148,64
Воздухораспределитель										40
										$\Sigma 188,64$
Расхождение давлений $\frac{191-188,64}{191} \cdot 100 = 1,56 \%$, что не требует дополнительных средств регулирования										

Второй способ. Увеличить потери давления можно при использовании на участке 7 (рис. 2) воздуховодов двух разных диаметров. Для этого, например, часть участка 7 должна быть выполнена диаметром 315 мм, а другая часть меньшим диаметром. Так же необходимо подобрать длину участка меньшего диаметра.

На схеме (рис. 2) выделена часть воздуховода под номером 7' с меньшим диаметром, которую целесообразно разместить на прямом отрезке, тем самым исключая образование дополнительных местных сопротивлений.

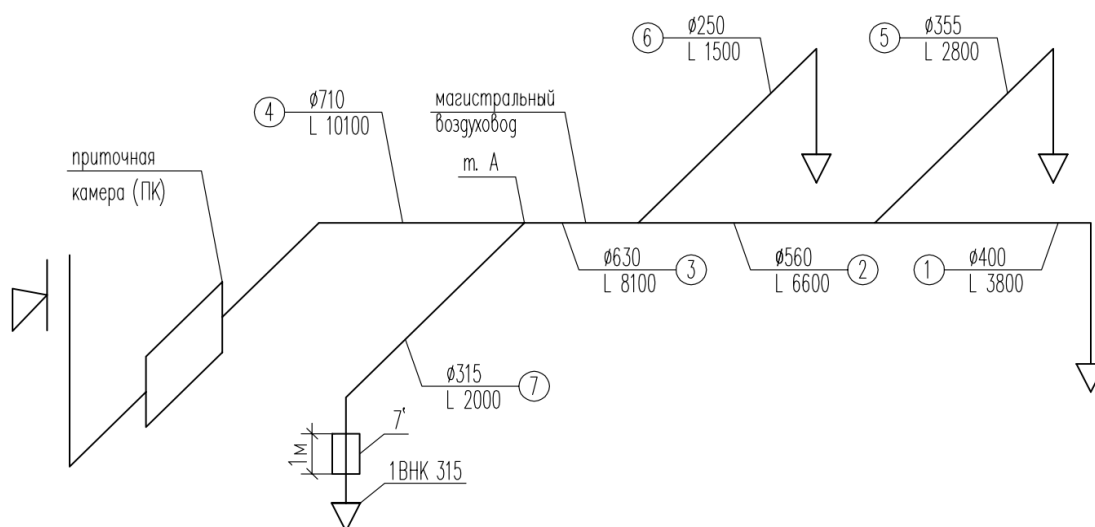


Рис. 2. Схема приточной системы вентиляции при включении в расчетный участок воздуховода меньшего диаметра

Аэродинамический расчет участков 7 и 7' приведен в табл. 2. При принятом незначительном расхождении в диаметрах (табл. 2) потерями в переходах от большого сечения к меньшему и наоборот пренебрегаем.

Таблица 2

Расчет воздухопровода, состоящего из участков 7 и 7'

№ участка	Расход, $L, \text{ м}^3/\text{ч}$	Длина участка, м	Скорость воздуха, $V, \text{ м/с}$	Диаметр воздухо- вода, $d, \text{ мм}$	Удельные потери давления, $R_{\text{уд}}, \text{ Па}$	Потери давления, $Rl, \text{ Па}$	Динамическое давление, $P_{\text{д}}, \text{ Па}$	Сумма коэффици- ентов местных со- противлений, $\Sigma \xi$	Потери давления, $Z, \text{ Па}$	$Rl+Z, \text{ Па}$
7	2000	4	7,2	315	1,84	7,36	31,7	3,6	114,12	121,48
7'	2000	1	9,1	280	3,3	3,3	-	-	-	3,3
Воздухораспределитель										40
										$\Sigma 164,78$
Расхождение давлений $\frac{191-164,78}{191} \cdot 100 = 17,36 \%$, что превышает допустимые значения										

В соответствии с полученным результатом (табл. 2) можно заключить, что увязку потерь давления при помощи установки короткого участка воздухопровода с меньшим диаметром крайне сложно выполнить. Снизить разницу в располагаемом давлении и в потерях на ответвлении посредством такого воздухопровода возможно только при небольшом значении расхождения, либо при значительном уменьшении его сечения или еще большем увеличении длины.

Третий способ. Рассмотрим возможность устранения невязки на участке 7 за счет установки цилиндрического конфузора. Для этого случая схема приточной системы приведена на рис. 3, а также один из возможных вариантов конструктивного исполнения конфузора представлен на рис. 4.

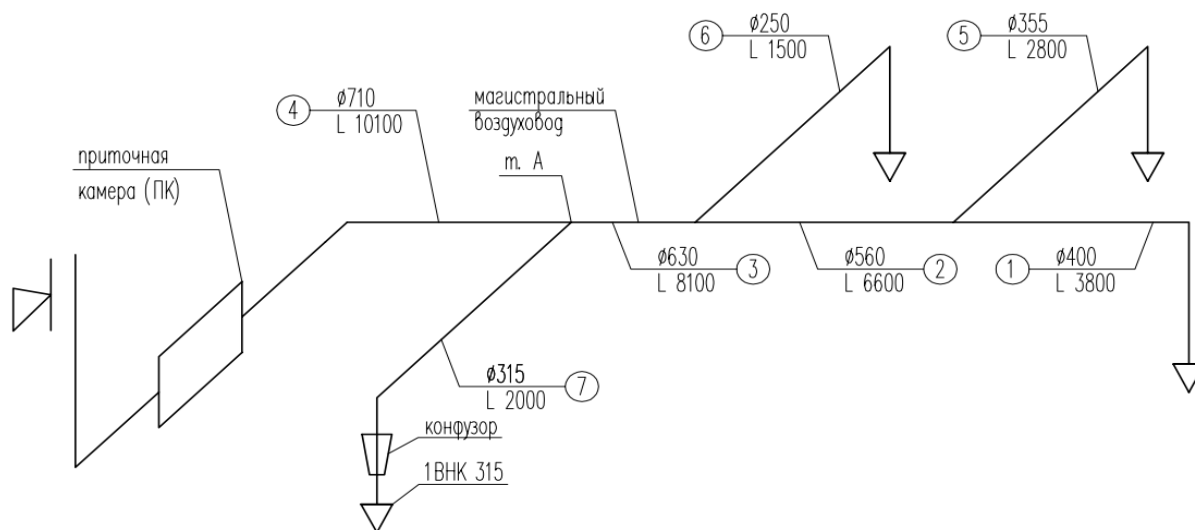


Рис. 3. Расчетная схема приточной системы вентиляции при установке конфузора

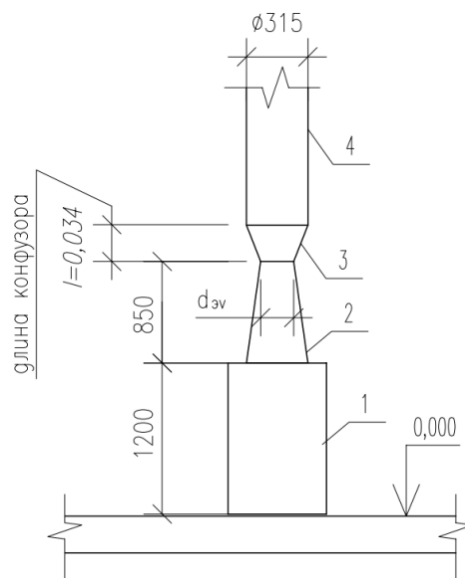


Рис. 4. Схема установки конфузора:

1 – воздухоораспределитель 1ВНК 315; 2 – переход; 3 – конфузор; 4 – прямой участок

Так как общая длина участка 7 равна 5 м, то потери давления на трение следует учитывать в воздуховоде протяженностью: $5 - (0,034 + 0,830) = 4,136$ м. При этом учитывается длина конфузора $l=0,034$ м, определенная в соответствии с углом $\alpha=20^\circ$ и соотношением $l/d_{эв}=0,15$ для принятого диаметра $d_{эв}=225$ мм [8].

Площадь поперечного сечения при $d_{эв} = 225$ мм составляет $F_{эв}=0,0397$ м². Тогда при расходе воздуха $L=2000$ м³/ч и плотности $\rho=1,2$ кг/м³, скорость на выходе из конфузора составит:

$$V = \frac{L}{3600 \times F_{эв}} = \frac{2000}{3600 \times 0,0397} = 13,99 \approx 14 \text{ м/с}$$

При расчетной скорости динамическое давление равно

$$P_{\text{дин}} = \frac{V^2 \times \rho}{2} = \frac{14^2 \times 1,2}{2} = 117,6 \text{ Па.}$$

Результаты аэродинамического расчета при установке конфузора приведены в табл. 3

Таблица 3

Расчет участка 7 приточной системы вентиляции при установке конфузора

№ участка	Расход, L , м ³ /ч	Длина участка	Скорость воздуха, V , м/с	Диаметр воздухово- да, d , мм	Удельные потери давления, $R_{\text{уд}}$, Па	Потери давления, Rl , Па	Динамическое давле- ние, P_d , Па	Сумма коэффициен- тов местных сопро- тивлений, $\Sigma \xi$	Потери давления, Z , Па	$Rl+Z$, Па
7	2000	4,14	7,2	315	1,84	7,62	31,7	3,6	114,12	121,74
Конфузор		22	14	225	-	-	117,6	0,29	34,1	34,1
Воздухораспределитель										40
										$\Sigma 195,84$
Расхождение давлений $\frac{191-195,84}{191} \cdot 100 = -2,5 \%$, что значительно меньше допустимого										

Полученный результат (табл. 3) при третьем способе, заключающемся в использовании местных сопротивлений, также позволяет без дополнительных расходов материалов на их обустройство устранить невязку в ответвлениях.

Кроме того, если системы вентиляции с переменным расходом воздуха [9] содержат автоматические воздушные клапаны, например VAV, то предусмотренные дополнительные технические решения еще на уровне аэродинамического расчета, стабилизируют их функционирование, сокращая потребление электроэнергии и увеличивая срок эксплуатации.

Заключение.

Проведен анализ трех способов регулировки вентиляционных систем, направленных на увязку потерь давления в отдельных участках. Применение того или иного способа зависит от многих факторов: назначения системы, сложности трассировки, конструктивных особенностей и т.д. Рассмотренные решения увязки вентиляционных систем возможны только при высокой точности реализации проектных решений на объекте.

Первый способ по устранению невязки в ответвлении вентиляционной сети заключается в использовании воздухопроводов с диаметрами, не включенными в нормативный сортамент для их изготовления. Достоинством решения является сокращение расхода металла при производстве воздухопроводов. При этом не затрудняются монтажные работы и не увеличиваются сроки их выполнения. Однако, изготовление нестандартных изделий требует дополнительных затрат на перенастройку оборудования.

Второй способ регулирования вентиляционной сети заключается в размещении на участке короткого воздуховода меньшего диаметра. Следует отметить, что в условиях ограниченной протяженности регулируемых ответвлений крайне сложно выполнить подбор нужной длины участка. Поэтому этот способ подходит для ответвлений с небольшим значением расхождения и требуемой увязки.

Третий способ заключается в использовании местного сопротивления (конфузора), позволяющего с высокой точностью устранить невязку в ответвлениях. Этот подход требует определенной профессиональной компетенции специалиста-проектировщика.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Наладка и регулирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха: Справочное пособие** / Б. А. Журавлев [и др.]; под ред. Б.А. Журавлева. – Москва: Стройиздат, 1980. – 448 с.
2. **Фокин, С. В.** Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: устройство, монтаж и эксплуатация: учебное пособие / С. В. Фокин, О. Н. Шпортько. – 2-е изд., стер. – Москва: КНОРУС, 2016. – 368 с.
3. **Антипов, А. В.** Монтаж, пуск и наладка систем вентиляции: учебное пособие / А. В. Антипов, И. А. Дубровин. – Москва: Издательский центр «Академия», 2009. – 64 с.
4. **Брух, С. В.** VRF-системы кондиционирования воздуха. Особенности проектирования, монтажа, наладки, сервиса / С. В. Брух в сотрудничестве с «БРИЗ-Климатические системы». – Москва: Компания БИС, 2017. – 359 с.
5. **Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч.3 Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1 (Справочник проектировщика)** / В. Н. Богословский [и др.]; Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Стройиздат, 1992. – 319 с.
6. **Монтаж, эксплуатация и сервис систем вентиляции и кондиционирования воздуха: учебн.-справ. пособие** / С. И. Бурцев [и др.]; под общ. ред. проф. В.Е. Минина. – Санкт-Петербург: Профессия, 2005. – 376 с.

7. **Вентиляция. Оборудование и технологии:** учебно-практическое пособие / Афанасьева Р. Ф. [и др.] – Москва: Стройинформ, 2007. – 418 с.
8. **Внутренние санитарно-технические устройства. В 2-х ч. Ч.2 Вентиляция и кондиционирование воздуха (Справочник проектировщика)** / В. Н. Богословский [и др.]; Под ред. И.Г. Старовойтова. - 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Стройиздат, 1977. – 502 с.
9. **Shelquist, P.** Принципы регулирования вентиляции / P. Shelquist, R. Amborn // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2002. – № 4. – С. 36-43.

Поступила в редакцию 24 июня 2025

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF AERODYNAMIC CONNECTION IN VENTILATION SYSTEMS

B. P. Novoseltsev, T. V. Shchukina, D. V. Lobanov

Boris Petrovich Novoseltsev, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: belebey36@mail.ru

Tatiana Vasilyevna Shchukina, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: schukina.niki@yandex.ru

Dmitry Valeryevich Lobanov, Senior Lecturer at the 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 adjustment and testing of ventilation systems are quite labor-intensive production processes, so in the absence of highly professional skills, there is a possibility of poor-quality performance of work. To achieve the transportation of design air flows through sections of networks, reducing the additional costs of installing control valves, it is possible to use various technical solutions that exclude the influence of the level of training of installers. The article discusses three methods: the use of ducts with non-standard diameters if necessary; the compilation of branches with a constant air flow from sections with different cross-sectional areas; the installation of confusers to increase pressure losses. We as well describe the results of aerodynamic calculation for each of the three methods, and their effectiveness in achieving the coordination of pressure losses along the branches. In conclusion we formulated some recommendations on the scope of application of the considered methods of aerodynamic coordination.

Keywords: ventilation system; air flow rate; regulation; aerodynamic coordination.

REFERENCES

1. **Zhuravlev B. A.** *Setting up and regulating ventilation and air conditioning systems: A reference manual.* Moscow, Stroyizdat. 1980. 448 p. (in Russian)
2. **Fokin S. V., Shportko O. N.** *Heating, ventilation and air conditioning systems: device, installation and operation.* 2nd ed. Moscow, KNORUS. 2016. 368 p. (in Russian)
3. **Antipov A. V., Dubrovin I. A.** *Installation, commissioning and commissioning of ventilation systems: textbook. the manual.* Moscow, Publishing center "Academy". 2009. 64 p. (in Russian)
4. **Bruch S. V.** *VRF-air conditioning systems. Features of design, installation, commissioning, and service.* Moscow, BIS Company. 2017. 359 p. (in Russian)

5. **Bogoslovsky V. N.** *Internal sanitary facilities. Ventilation and air conditioning are available at 3 p.m. Book 1 (Designer's Handbook) 4th ed., revised and add.* Moscow, Stroyizdat. 1992. 319 p. (in Russian)
6. **Burtsev S. I.** *Installation, operation and service of ventilation and air conditioning systems. Help me. Manual.* St. Petersburg, Profession. 2005. 376 p. (in Russian)
7. **Afanasyeva R. F.** *Ventilation. Equipment and technologies: an educational and practical guide.* Moscow, Stroyinform. 2007. 418 p. (in Russian)
8. **Bogoslovsky V. N.** *Internal sanitary and technical devices. In 2 parts. Part 2 Ventilation and air conditioning (Handbook for designers) 2nd edition, revised and expanded.* Moscow, Stroyizdat. 1977. 502 p. (in Russian).
9. **Shelquist P., Amborn R.** *Principles of Ventilation Control.* AVOK: Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics. 2002. No. 4. Pp. 36-43. (in Russian)

Received 24 June 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Новосельцев, Б. П. Сравнительный анализ способов аэродинамической увязки систем вентиляции / **Б. П. Новосельцев**, Т. В. Щукина, Д. В. Лобанов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 3(34). – С. 28-36. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.003.

FOR CITATION:

Novoseltsev B. P., Shchukina T. V., Lobanov D. V. *Comparative analysis of methods of aerodynamic connection in ventilation systems.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 3(34). Pp. 28-36. DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.003. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.004

УДК 697.341

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ БИЙСКА

А. В. Руколеев

Руколеев Андрей Владимирович, канд. ист. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, процессов и аппаратов химической технологии, 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

Рассматривается текущее состояние и динамика развития теплосетевого хозяйства города Бийска на основе данных за три отопительных сезона (2022...2025 гг.). Основное внимание уделено анализу эксплуатационных параметров системы теплоснабжения, включающих температуру наружного воздуха, температурные режимы теплоносителя, средний часовой расход теплоносителя, а также статистику аварийности и устранения дефектов. Проведённый анализ позволил выявить характерные особенности функционирования теплосети в зависимости от климатических условий конкретного сезона. Результаты исследования показывают, что температурные графики в целом выдерживаются, разница между температурой подающего и обратного теплоносителя сохраняется в пределах 15...20 °С, что свидетельствует о стабильности гидравлических и тепловых процессов. Отмечено повышение температуры подачи в отопительном сезоне 2024...2025 гг., что связано с более суровыми погодными условиями и ростом тепловой нагрузки. Анализ расхода теплоносителя подтверждает данную тенденцию: наибольшие значения расхода приходятся именно на холодные месяцы последнего сезона. Важным элементом исследования стала оценка аварийности: зафиксирован рост числа инцидентов с 235 случаев в сезоне 2022...2023 гг. до 312 случаев в 2024...2025 гг. Несмотря на нормативные сроки ликвидации аварий, рост повреждаемости указывает на необходимость модернизации сетей. Сформулированы рекомендации по оптимизации температурных графиков, внедрению погодозависимого регулирования, развитию систем автоматизированного мониторинга и повышению эффективности ремонтных мероприятий. Полученные результаты могут быть использованы для планирования мероприятий по модернизации и развитию теплосетевого хозяйства города.

Ключевые слова: теплоснабжение; температурный график; модернизация; износ; отопительный сезон.

В последние годы в муниципальном образовании город Бийск, как и в других муниципалитетах Алтайского края, особенно остро встает вопрос преобразования теплосетевого комплекса [1]. В городе Бийске преобладает централизованное теплоснабжение от ТЭЦ и муниципальных котельных. Централизованная система теплоснабжения города сложилась, в основном, в 1960...1970 годы и исторически осуществлялась от различных источников. Всего на территории города по состоянию на 01.01.2024 работают 60 источников тепловой энергии, в т.ч. одна ТЭЦ и 31 котельная. Более 60 % тепловых сетей имеют износ свыше 50 %, что ведёт к значительным потерям тепловой энергии, а также частым авариям. Переход к эффективной системе теплоснабжения требует не только капитального ремонта, но и внедрения современных методов управления теплопередачей.

В условиях роста затрат на энергоресурсы, ужесточения нормативов по энергоэффективности, а также значительных тепловых потерь, достигающих в отдельных участках 30%, актуальной задачей становится пересмотр принципов функционирования теплосетей. Необходимо переходить от ремонтной эксплуатации к стратегическому планированию на основе инженерных изысканий, технико-экономических расчётов и внедрения

интеллектуальных систем управления теплоснабжением. Таким образом, современное теплоснабжение российских городов сталкивается с комплексом вызовов: значительный износ тепловых сетей, рост тарифов при снижении потребности в тепле из-за климатических изменений, а также необходимость перехода к энергоэффективным и цифровым решениям. Для Бийска эта проблема особенно остра, так как город находится в зоне резко-континентального климата, а отопительный сезон занимает до 8 месяцев в году.

Целью настоящей работы является систематизация данных при проведении комплексного анализа функционирования теплосетевого хозяйства Бийска в современных условиях.

Исследования российских авторов последних лет формируют устойчивую базу знаний по нескольким направлениям: климатические индикаторы тепловой нагрузки, оптимизация температурных графиков и погодозависимого регулирования, цифровая диагностика тепловых пунктов, гидравлическая устойчивость и распределение потоков в сетях, а также системно-экономический анализ эффективности теплоснабжения.

С 2019 г. активно обсуждается корректность применения и пересмотра «градусо-суток отопления» для российских территорий как интегрального индикатора климатического спроса на тепло. Дворецкий А. Т. вместе со своими коллегами [2] аргументирует необходимость унифицированного определения градусо-суток и подходов к их расчёту для проектных и аналитических задач. В работе представлена методика определения градусо-суток периода охлаждения зданий на основе климатических данных – среднемесячной температуры воздуха и среднесуточной амплитуды температуры наружного воздуха.

В своей статье П. А. Шинников [3] обобщает вызовы централизованного теплоснабжения крупных российских городов. Автор рассматривает механизмы, которые могут стать базой или ее частью для создания регулятора отношений между вовлеченными в процесс теплоснабжения хозяйствующими субъектами с целью повышения общей эффективности энергосистемы. Это закрепляет научный консенсус о том, что чисто технологические меры без реформ управления дают ограниченный эффект.

Значимый вклад в системное описание эффективности теплосетевого комплекса внесён в статью [4] авторов Бойко Е. Е., Бык Ф. Л., Илюшин П. В., Мышкина Л. С. В ней показано, что ключевыми показателями на уровне сетей выступают аварийность, теплопотери и затраты на транспорт теплоносителя; подчеркнута роль топологии, диаметров и управляемости гидравлического/термодинамического режима, а также важность приборного учёта и погодозависимого регулирования на стороне потребителя. Авторами предложены способы улучшения перечисленных свойств систем теплоснабжения, что особенно актуально для малых, средних и больших городов, где основой систем теплоснабжения являются котельные.

Исследования [5] по моделям погодозависимых регуляторов показывают, что корректная настройка отопительной кривой (наклон/сдвиг) и ограничение скорости изменения температуры подачи позволяют экономить энергию без ухудшения комфорта. Фёдоров Н.Г. предлагает модель, посвященную поиску возможностей минимизации расхода тепла в отопительных контурах, что подтверждает практическую реализуемость алгоритмов «мягкой» адаптации температуры подающего теплоносителя (Т1) к изменению наружной температуры.

Дворцовой А.И. [6] демонстрирует разработку методов интеллектуализации режимов работы индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) для повышения их эффективности и надежности с ранним выявлением предаварийных состояний на основе кластеризации параметров, что открывает практические возможности для проактивного обслуживания узлов, снижения аварийности и стабилизации обратной температуры.

Калабин Д.А. в своей статье [7] сочетает компьютерное моделирование с натурными замерами теплогидравлических режимов работы сетей системы централизованного теплоснабжения с абонентами, имеющими различную степень оснащённости средствами авто-

матизации. Работа подчёркивает, что даже локальные изменения (ИТП, балансировка, насосы с ЧРП) существенно влияют на ΔT и устойчивость распределения, а следовательно — на потери и надёжность.

Вопросы повышения энергетической эффективности централизованного теплоснабжения со схемой реализации комбинированного централизованного теплоснабжения крупных энергорайонов с применением одновременного использования котельных на различном топливе, что позволяет сокращать совокупные затраты на потребление энергетических ресурсов всей системы выработки тепловой энергии рассматривает Дзюба А. П. [8] Это смещает фокус от «фиксированных» графиков к адаптивным схемам и различным сценариям смешанной генерации.

Таким образом, анализ научных исследований показывает, что проблема повышения эффективности теплоснабжения рассматривается комплексно, т.е. от совершенствования климатических индикаторов и методов расчёта тепловой нагрузки до внедрения интеллектуальных систем регулирования и цифровой диагностики оборудования. Эти работы закладывают методологическую основу для оценки состояния тепловых сетей на муниципальном уровне. Однако при этом остаётся дефицит прикладных исследований, ориентированных на конкретные города Сибири, где климатические условия и уровень износа инфраструктуры формируют особую специфику управления теплоснабжением.

Анализ работы филиала «БийскэнергоТеплоТранзит» АО «СГК-Алтай» показывает, что из общей протяжённости тепловых сетей города (более 210 км) около 65 % трубопроводов выработали нормативный срок службы. Наиболее проблемные участки сосредоточены в исторической части города и районах плотной застройки, где высокая плотность потребителей сочетается с морально и физически устаревшими инженерными коммуникациями. Частые аварии в зимний период обусловлены не только естественным износом трубопроводов, но и недостатками в управлении тепловыми потоками, что усугубляет нагрузку на отдельные участки сети в периоды пикового холода.

Ситуация усугубляется климатическим фактором. По данным суммарной отрицательной температуры наружного воздуха, представленным на рис. 1, за три отопительных сезона в осенне-зимний периоды (ОЗП) 2022...2025, декабрь, январь и февраль стабильно остаются месяцами с наибольшей тепловой нагрузкой.

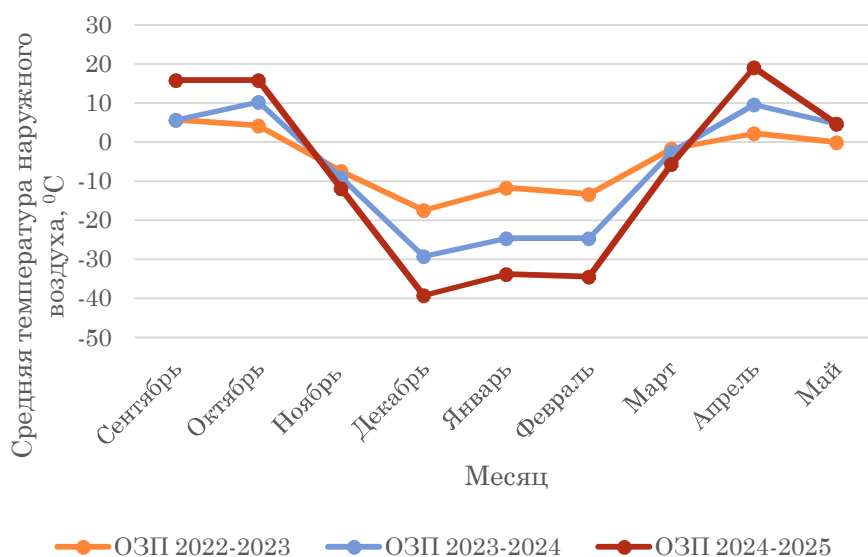


Рис. 1. График температуры воздуха за отопительные периоды

Причём ОЗП 2024...2025 продемонстрировал наиболее выраженное понижение температуры в январе и феврале, что неизбежно потребовало увеличения подачи тепла и, как

следствие, роста гидравлического давления в системе. Такие режимы создают дополнительное напряжение для участков сети с высоким износом, повышая вероятность аварий.

В то же время ОЗП 2023...2024 характеризовался наиболее «мягким» температурным профилем, особенно в октябре и марте, что подтверждает необходимость гибкого управления температурными графиками. В условиях изношенных сетей мягкие зимы создают «окно возможностей» для снижения нагрузки и более плавной эксплуатации оборудования. Однако жёсткие зимние пики (как в 2024...2025 гг.) обнажают уязвимости теплосетевого хозяйства и подтверждают выводы современных исследований о том, что надёжность систем в сибирских городах определяется не только техническим состоянием трубопроводов, но и качеством управления режимами теплоснабжения.

Анализ графика среднего часового расхода теплоносителя по месяцам за три отопительных сезона (ОЗП 2022...2025) (рис. 2) позволяет выявить закономерности функционирования теплосетевого комплекса города.

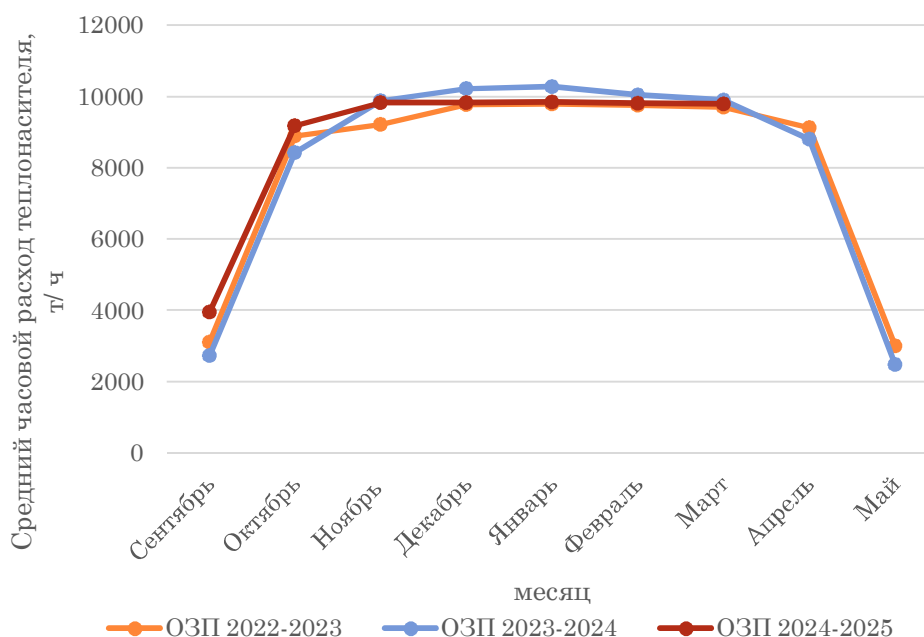


Рис. 2. График среднего часового расхода теплоносителя по месяцам за отопительные периоды

Динамика расхода в целом коррелирует с изменением температуры наружного воздуха: по мере снижения температуры фиксируется рост потребления теплоносителя. Этот факт подтверждает адекватность системы регулирования, которая корректно реагирует на изменение климатической нагрузки.

Особое внимание заслуживает отопительный сезон 2024...2025 гг., для которого характерны наиболее высокие значения расхода теплоносителя практически во все месяцы. На первый взгляд, это объясняется климатическими условиями – январь и февраль данного сезона действительно оказались наиболее холодными за трёхлетний период наблюдений. Однако повышение расхода может указывать и на наличие технических проблем, таких как скрытые утечки теплоносителя или нерациональное управление режимами, приводящее к так называемому «перетоку». Подобные факторы не только увеличивают нагрузку на источники тепла, но и создают дополнительное давление на изношенные участки сети, ускоряя развитие дефектов.

В противоположность этому, сезон 2022...2023 гг. продемонстрировал наиболее «экономичный» расход теплоносителя. Это согласуется с климатическими данными – данный сезон был относительно мягким и, соответственно, требовал меньшего теплового отпуска. Таким образом, именно сочетание климатических условий и технического состо-

яния сетей формирует реальную картину работы теплоснабжения: климат задаёт базовый уровень нагрузки, а эксплуатационные факторы определяют эффективность её покрытия.

Анализ температурных режимов теплоносителя (T_1 и T_2) по месяцам за три отопительных сезона (ОЗП 2022...2025) позволяет оценить устойчивость и эффективность работы теплосетевого хозяйства (см. рис. 3).

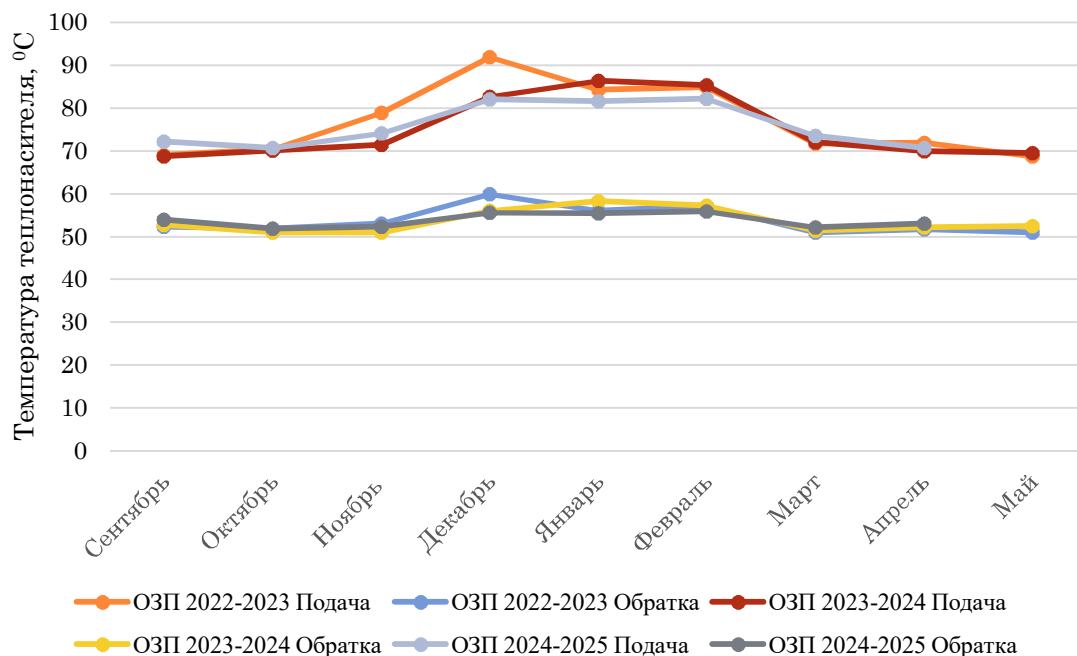


Рис. 3. График температуры теплоносителя по месяцам за отопительные периоды

Во всех рассмотренных сезонах прослеживается соблюдение нормативного температурного графика: разность температур между подающим и обратным трубопроводами удерживается в пределах 15...20 °C. Это значение соответствует техническим регламентам и указывает на относительную стабильность гидравлических и теплотехнических характеристик системы. Поддержание заданного диапазона разности температур свидетельствует о том, что циркуляция и теплообмен в сетях функционируют в целом корректно.

Наиболее заметные изменения фиксируются в сезоне 2024...2025 гг. Температура подачи в пиковые зимние месяцы оказалась выше, чем в предыдущие годы. Данное обстоятельство может рассматриваться как адаптивная реакция системы на более суровые погодные условия: январь и февраль этого сезона характеризовались минимальными температурами наружного воздуха и, соответственно, максимальными значениями тепловой нагрузки. Повышение температуры подающего теплоносителя в такой ситуации позволило обеспечить требуемую температуру воздуха внутри помещений, несмотря на возросшие теплопотери через ограждающие конструкции зданий.

Для сезона 2023...2024 гг., напротив, характерны более низкие значения температур подачи и обратки. Это соответствует данным анализа температур наружного воздуха ($T_{нв}$), подтверждающим мягкость зимы в данном периоде. Таким образом, система продемонстрировала гибкость и способность снижать параметры подачи при уменьшении климатической нагрузки, что положительно сказывается на экономичности эксплуатации.

Применение методик, изложенных в статье Ключко А. К. [9], даёт возможность рассчитать оптимальные значения температуры теплоносителя в зависимости от изменения тепловой нагрузки, вызванной, например, капитальным ремонтом зданий или изменением их назначения.

В целом, результаты анализа показывают, что температурные графики в Бийске в исследуемые периоды корректно реагировали на изменение внешних условий, однако

рост температуры подающего теплоносителя в 2024...2025 гг. в сочетании с повышенным расходом теплоносителя требует отдельной оценки: не во всех случаях увеличение подачи связано исключительно с климатом – оно может быть также следствием неравномерного распределения нагрузки или перетопа в отдельных узлах системы.

Важным элементом исследования стала оценка аварийности тепловых сетей города. По данным филиала «БийскэнергоТеплоТранзит» АО «СГК-Алтай», зафиксирован рост числа инцидентов: если в отопительном сезоне 2022...2023 гг. зарегистрировано 235 случаев повреждений, то в сезоне 2024...2025 гг. количество аварий достигло 312. Динамика свидетельствует о том, что, несмотря на соблюдение нормативных сроков ликвидации повреждений, тенденция роста аварийности остаётся устойчивой.

Подобные результаты напрямую коррелируют с высокой степенью износа тепловых сетей. Так в своем исследовании А. С. Терентьева отмечает, что в 2022 г. в России протяженность тепловых и паровых сетей, нуждающихся в замене, составила 50,6 тыс. км в двухтрубном исчислении. Это почти 30 % всех тепловых сетей в стране, из них более 23 % сетей – ветхие [10], а порядка 65 % трубопроводов в Бийске выработали нормативный срок службы. Это усиливает чувствительность инфраструктуры к климатическим нагрузкам, особенно в периоды пиковых зимних температур, когда возрастает давление в системе и тепловые потоки перераспределяются неравномерно.

Рост повреждаемости указывает на необходимость системных мер по модернизации теплосетевого хозяйства, включая:

- ✓ оптимизацию температурных графиков с учётом климатических колебаний и особенностей застройки;
- ✓ внедрение погодозависимого регулирования, позволяющего гибко реагировать на изменение температуры наружного воздуха и минимизировать тепловые перегрузки;
- ✓ развитие систем автоматизированного мониторинга, обеспечивающих непрерывный контроль параметров теплоносителя и раннее выявление аномалий в работе сети;
- ✓ повышение эффективности ремонтных мероприятий за счёт перехода от реактивного к превентивному обслуживанию.

Полученные результаты исследования могут быть использованы при разработке программ модернизации и развития теплосетевого хозяйства города. Они обеспечивают основу для формирования инвестиционных планов, выбора приоритетных участков реконструкции, а также повышения энергетической эффективности и надёжности теплоснабжения в долгосрочной перспективе.

Заключение.

Проведен обзор современных направлений научных исследований в области теплоснабжения, включая совершенствование климатических индикаторов, внедрение погодозависимого регулирования, цифровой диагностики и методов системного моделирования. Показано, что для повышения энергоэффективности необходим переход от фрагментарного ремонта к комплексной модернизации с применением интеллектуальных систем управления, приборного учёта и цифровых алгоритмов регулирования.

Рассмотрено текущее состояние и проблемы эксплуатации системы централизованного теплоснабжения города Бийска, построенной преимущественно в 1960...1980-х годах и находящейся в стадии значительного физического и морального износа. Проведён анализ трёх отопительных сезонов (2022...2025 гг.) с учётом климатических факторов, динамики расхода теплоносителя и температурных режимов подачи и обратки. Показано, что эксплуатация в условиях резко континентального климата формирует дополнительные риски, особенно в периоды зимних пиковых нагрузок, когда возрастает вероятность аварий на изношенных участках сети.

Выявлено, что, несмотря на общее соблюдение нормативных температурных графиков, рост расхода теплоносителя и повышение температуры подачи в сезоне 2024...

2025 гг. могут указывать на скрытые утечки, перетоп или недостатки в управлении режимами. Эти факторы усиливают нагрузку на тепловые сети и снижают их надёжность.

Таким образом, устойчивое развитие системы теплоснабжения Бийска возможно только при сочетании технических решений (модернизация сетей, установка ИТП, балансировка гидравлических режимов) с организационно-экономическими мерами и цифровизацией процессов. Это позволит снизить тепловые потери, повысить надёжность эксплуатации и обеспечить экономическую эффективность теплоснабжения в условиях сурового климата Сибири.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Каньшин, А. В.** Концессионные соглашения в решении проблем эксплуатации объектов теплоснабжения на территории муниципального образования города Бийска Алтайского края / А. В. Каньшин // Россия в XXI веке: стратегия и тактика социально-экономических, политических и правовых реформ: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Барнаул, 22...23 апреля 2021 г. – Барнаул: Алтайский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», 2021. – С. 519-522.
2. О необходимости определения градусо - суток периода охлаждения зданий на территории России / А. Т. Дворецкий, А. В. Спиридонов, С. А. Митрофанова, Т. В. Денисова // Жилищное строительство. – 2019. – № 8. – С. 46-49.
3. **Щинников, П. А.** Об эффективности систем теплоснабжения в современных условиях / П. А. Щинников // ЭКО. – 2020. – № 4(550). – С. 28-44.
4. Эффективность теплоснабжения муниципальных образований / Е. Е. Бойко, Ф. Л. Бык, П. В. Илюшин, Л. С. Мышкина // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2023. – № 4. – С. 66-78.
5. **Федоров, Н. Г.** Одна модель погодозависимого регулятора тепловой энергии / Н. Г. Федоров // Автоматика и программная инженерия. – 2023. – № 1(43). – С. 10-14.
6. Метод диагностики режимов работы индивидуальных тепловых пунктов, позволяющий выявлять предаварийные ситуации на ранней стадии / А. И. Дворцовой, О. В. Боруш, В. А. Хорева, И. Н. Яковина // Проблемы региональной энергетики. – 2024. – № 4(64). – С. 21-33.
7. **Калабин, Д. А.** Компьютерное моделирование и натурные замеры потокораспределения действующей тепловой сети / Д. А. Калабин, А. Ю. Липовка, Ю. Л. Липовка // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2021. – Т. 25. – № 1(156). – С. 44-56.
8. **Дзюба, А. П.** Задачи повышения энергетической эффективности теплоснабжения в России в условиях интеграции с рынком электроэнергии (мощности) / А. П. Дзюба, Д. В. Конопелько // Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право. – 2024. – Т. 34. – № 5. – С. 808-817.
9. **Ключко, А. К.** Корректировка температурных графиков отопительных систем с учетом их фактического состояния / А. К. Ключко // Приволжский научный журнал. – 2024. – № 1(69). – С. 34-42.
10. **Терентьева, А. С.** Анализ состояния и прогнозирование развития сектора централизованного теплоснабжения в России в условиях новых инвестиционных механизмов: дис. ... канд. экон. наук : 5.2.3 / Александра Станиславовна Терентьева : Ин-т народнохозяйственного прогнозирования РАН. – Москва, 2025. – 147 с.

Поступила в редакцию 27 августа 2025

STATE AND PROSPECTS OF HEAT SUPPLY SYSTEM MODERNIZATION IN THE CITY OF BIYSK

A. V. Rukoleev

Andrey Vladimirovich Rukoleev, Cand. Sc. (History), Associate Professor at the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Processes and Apparatuses of Chemical Technology, 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 presented article examines the current state and dynamics of the development of the heat supply system in the city of Biysk based on data from three heating seasons (2022...2025). The main focus is on analyzing the operational parameters of the heat supply system, including the outdoor temperature, the temperature of the supply and return heat carriers, the average hourly flow rate of the heat carrier, as well as the statistics of accidents and defect repair. This analysis has revealed the specific features of the heat supply system's functioning depending on the climatic conditions of each season. The results of the study show that the temperature schedules are generally maintained, and the difference between the supply and return temperatures remains within 15...20 °C, indicating the stability of the hydraulic and thermal processes. However, during the 2024...2025 heating season, there was an increase in the supply temperature, which can be attributed to harsher weather conditions and increased thermal loads. The analysis of the heat carrier flow confirms this trend: the highest flow values are observed during the coldest months of the last season. An important aspect of the study was the assessment of accidents: there was an increase in the number of incidents from 235 in the 2022...2023 season to 312 in the 2024...2025 season. Despite the regulatory deadlines for accident response, the increase in damage indicates the need for network modernization. We have formulated some recommendations for optimizing temperature schedules, implementing weather-dependent regulation, developing automated monitoring systems, and improving the efficiency of repair measures. The obtained results can be used for planning measures to modernize and develop the city's heating network.

Keywords: heat supply; modernization; energy efficiency; costs; temperature; wear and tear; heating season.

REFERENCES

1. **Kanshin A. V.** *Concession Agreements in Solving the Problems of Operating Heat Supply Facilities in the Municipal Formation of the City of Biysk in the Altai Territory*. Russia in the 21st Century: Strategy and Tactics of Socio-Economic, Political, and Legal Reforms: Proceedings of the 14th All-Russian Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists, Barnaul, April 22–23, 2021. Barnaul: Altai Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation". 2021. Pp. 519-522. (in Russian)
2. **Dvoretzky A. T., Spiridonov A. V., Mitrofanova S. A., Denisova T. V.** *On the Need to Determine the Degree-Days of the Cooling Period of Buildings in Russia*. Housing Construction. 2019. No. 8. Pp. 46-49. (in Russian)
3. **Shchinnikov P. A.** *On the efficiency of heat supply systems in modern conditions*. ECO. 2020. No. 4(550). Pp. 28-44. (in Russian)
4. **Boyko E. E., Byk F. L., Ilyushin P. V., Myshkina L. S.** *Efficiency of Municipalities' Heat Supply*. Izvestiya of the Russian Academy of Sciences. Energetics. 2023. No. 4. Pp. 66-78. (in Russian)
5. **Fedorov N. G.** *One model of a weather-dependent thermal energy regulator*. Automation and Software Engineering. 2023. No. 1(43). Pp. 10-14. (in Russian)

6. **Dvortsevoy A. I., Borush O. V., Khoreva V. A., Yakovina I. N.** *A method for diagnosing the operating modes of individual heating stations that allows for the early detection of pre-emergency situations.* Problems of Regional Energy. 2024. No. 4(64). Pp. 21-33. (in Russian)
7. **Kalabin D. A.** *Computer modeling and field measurements of the flow distribution of an operating heating network* Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2021. Vol. 25. No. 1(156). Pp. 44-56. (in Russian)
8. **Dzyuba A. P., Konopelko D. V.** *Tasks of increasing the energy efficiency of heat supply in Russia in the conditions of integration with the electricity (capacity) market.* Bulletin of the Udmurt University. Series Economics and Law. 2024. Vol. 34. No. 5. Pp. 808-817. (in Russian)
9. **Klochko A. K.** *Adjustment of temperature schedules of heating systems taking into account their actual condition.* Privolzhsky Scientific Journal. 2024. No. 1(69). Pp. 34-42. (in Russian)
10. **Terentyeva A. S.** *Analysis of the State and Forecasting of the Development of the Centralized Heat Supply Sector in Russia under New Investment Mechanisms.* Moscow, Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences. 2025. 147 p. (in Russian)

Received 27 August 2025

Для цитирования:

Руколеев, А. В. Состояние и перспективы модернизации системы теплоснабжения Бийска / А. В. Руколеев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 3(34). – С. 37-45. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.004.

FOR CITATION:

Rukoleev A. V. *State and prospects of heat supply system modernization in the city of Biysk.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 3(34). Pp. 37-45. DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.004. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.005

УДК 697.921.45

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ С ВЫТЕСНЯЮЩЕЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ

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

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

Щукина Татьяна Васильевна, 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: schukina.niki@yandex.ru

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

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

Рассмотрен ряд конструкций низкоскоростных воздухораспределителей с разными видами формируемых воздушных потоков. Приведены результаты моделирования воздухораспределения с помощью программы ProAirWeb компании «Swegon» для конференц-зала, оборудованном приточной вытесняющей вентиляцией. Установлено, что температурный режим внутреннего воздуха в различных зонах помещения идентичен и не зависит от видов подобных приточных устройств при прочих равных условиях. Показаны различия в формировании воздушных струй в объеме помещения, что связано в основном с конструктивными особенностями и местоположением воздухораспределителей. Рассмотрено изменение теплового режима в зависимости от градиента температур при одинаковой высоте помещения. Приведены графические зависимости и определены показатели температуры приточного воздуха в нижней и верхней зонах помещения, обеспечивающие заданную температуру внутреннего воздуха.

Ключевые слова: вытесняющая вентиляция; воздухораспределение; воздухообмен; тепловой режим помещения; моделирование; ассимиляция теплоизбытков.

Создание комфортного микроклимата в помещениях направлено, прежде всего, на обеспечение высокой работоспособности человека и благоприятных условий его пребывания. Наряду с указанными функциями инженерные системы, поддерживающие требуемые тепловые, воздушные и влажностные режимы, должны при пониженных затратах на технические решения соответствовать современным критериям энергоэффективности, определяющее влияние на которые оказывают, в том числе, организация воздухообмена и вид воздухораспределительных устройств [1, 2]. Учитывая последнее условие, а также достаточно строгие требования к некоторым категориям помещений, особый интерес представляет собой вытесняющая вентиляция как один из наиболее рациональных способов обеспечения высокого качества внутреннего воздуха при минимальных энергозатратах [3].

Вытесняющая вентиляция предполагает подачу приточного воздуха непосредственно в рабочую зону таким образом, чтобы воздушная струя распространялась горизонтально со слегка восходящим потоком. Это позволяет обработанной чистой воздушной массой равномерно заполнять обслуживаемую зону с попутным вытеснением загрязненной среды.

Следует отметить преимущества вытесняющего принципа вентиляции, которые

обеспечивают его приоритетность в решении вопросов воздухообмена [4]: достижение высокой степени чистоты в рабочей зоне как по отношению к вредным примесям, так и к избыткам тепла; относительно равномерное распределение температуры по объему помещения; пониженная концентрация углекислого газа (CO_2); малая подвижность воздуха, исключающая дискомфорт от перемещения воздушных потоков.

Для подтверждения достижения высокого качества воздушной среды в соответствии с обоснованиями в работе [4], выполним исследование работы системы вытесняющей вентиляции в помещении на основе математического моделирования. В качестве примера рассмотрим конференц-зал на 35 мест в одном из зданий административного назначения, планировка которого представлена на рис. 1.

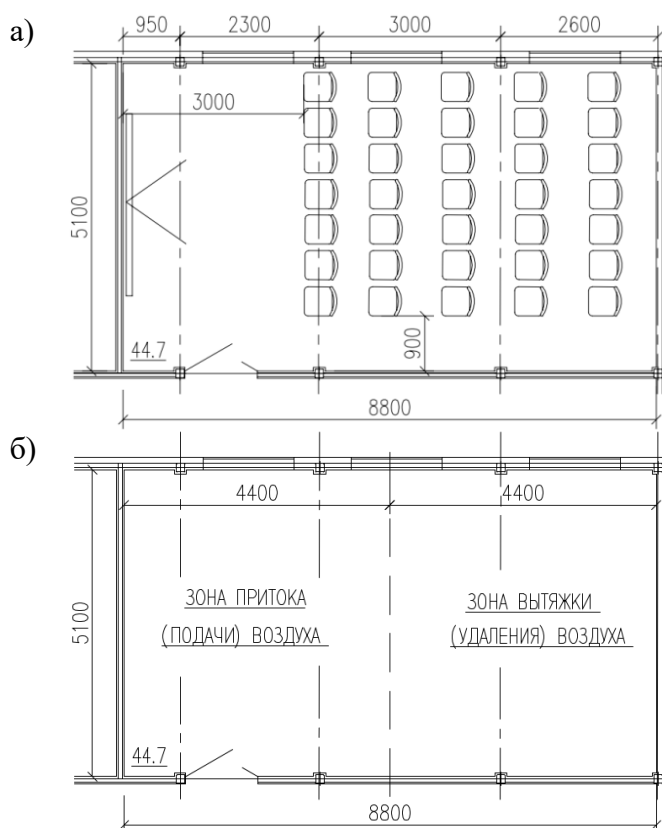


Рис. 1. Конференц-зал:

а – план помещения с размещением непостоянных рабочих мест;

б – план с указанием зон притока и вытяжки

Конференц-зал предназначен для кратковременного пребывания людей на время проведения различных мероприятий, то есть предусмотрены непостоянные рабочие места. В соответствии с ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» рассматриваемый зал (рис.1) относится к «3а категории», то есть к помещениям с массовым пребыванием людей, в которых они находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды. Нормируемые параметры воздушной среды для указанной категории принимаются по ГОСТ 30494-2011.

В СП 60.13330.2020 «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» минимальный расход требуемого приточного воздуха для непостоянных рабочих мест составляет $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одного человека. Поэтому, в соответствии с указанной величиной, объемный расход как приточного, так и вытяжного воздуха для данного помещения, имеющего 35 посадочных мест, составляет $700 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Моделирование работы системы приточной вытесняющей вентиляции выполнялось с помощью программы расчета воздухораспределителей ProAirWeb компании «Swegon»

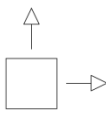
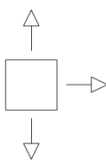
[5] и с учетом следующих исходных данных:

- ✓ габариты помещения: длина – 8,8 м, ширина – 5,1 м, высота – 3,0 м;
- ✓ площадь пола помещения – 44,88 м²;
- ✓ объем помещения – 134,64 м³;
- ✓ подвижность воздуха в пределах 0,1 м/с;
- ✓ температура внутреннего воздуха – 22 °С;
- ✓ расход воздуха – 700 м³/ч.

Предварительно рассматривались различные варианты организации схем подачи приточного воздуха в конференц-зал при вытесняющей вентиляции [6], представленные в табл. 1. Количество воздухораспределителей, исходя из ширины и длины помещения, было принято равным 2.

Таблица 1

Варианты подачи приточного воздуха в помещение

Номер схемы	Схема подачи воздуха	Внешний вид воздухораспределителя	Описание распределителя воздуха	Номера таблиц с изображением потоков воздуха
1			Комплектный плоский низкоскоростной диффузор (DIRc 900-1V+DIRT4a 200) для монтажа в стену. Состоит из двух частей: опорной коробки и перфорированной лицевой панели.	таблица 3
2			Низкоскоростной диффузор (DVCe 200-2H) для монтажа в углу. Опорная коробка состоит из верхнего, с круглой впускной муфтой, и нижнего листов, а также дозирующего листа с поворотными форсунками и крышкой для доступа к воздуховодам.	таблица 4
3			Комплектный арочной формы низкоскоростной диффузор (DBRe 200-3V) для монтажа на стене. Опорная коробка диффузора состоит из двух частей- диффузора и соединения.	таблица 5

Технические и расчетные характеристики выбранных для данных условий низкоскоростных воздухораспределителей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные данные воздухораспределителей

Номер схемы	Наименование ВР	Количество, шт.	Расход воздуха, L, м ³ /ч	Зона влияния		градиент температуры Δt , °С/м
				длина, м	ширина, м	
1	DIRc 900-1V+DIRT4a 200, плоское устр.	2	350	1,94	1,68	1
				2,45	2,12	2
				2,80	2,42	3
2	DVCe 200-2H, в углу	2	350	1,98	4,46	1
				2,50	5,62	2
				2,86	6,43	3
3	DBRe 200-3V, полукруглое устр.	2	350	1,43	2,67	1
				1,80	3,37	2
				2,06	3,86	3

Для визуализации расчетных вариантов воздухораспределения в таблицах 3...5 представлены виды струйных течений в зависимости от градиента температуры.

Таблица 3

Распределение воздуха 1-сторонней приточной струей
градиент температуры, °C

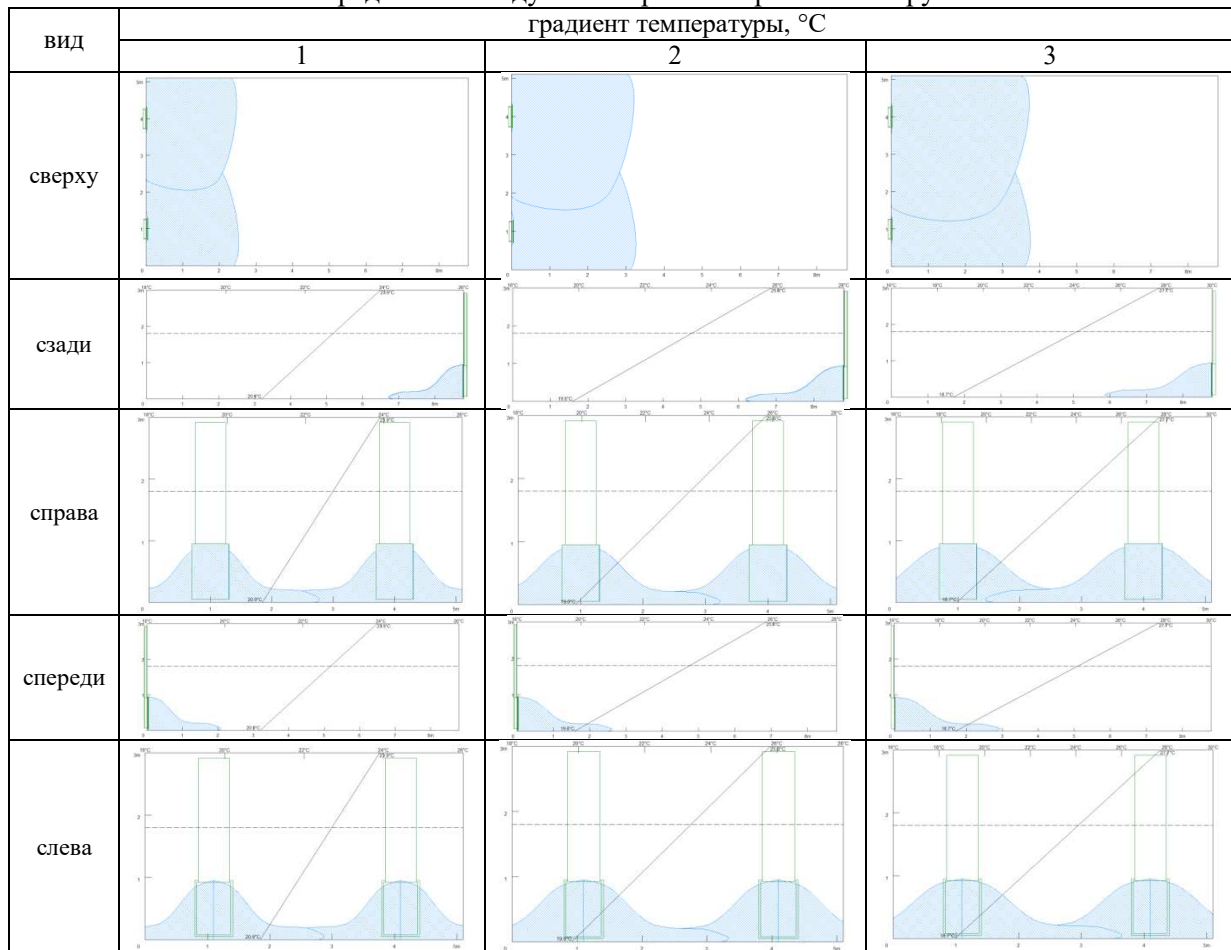
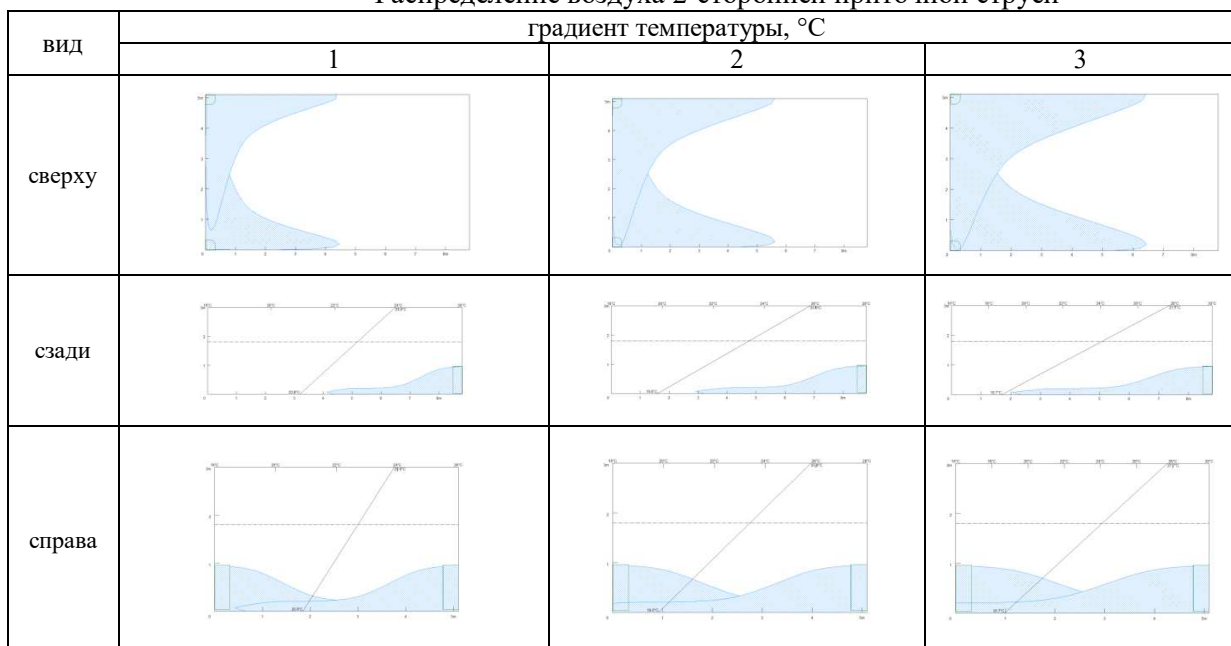


Таблица 4

Распределение воздуха 2-сторонней приточной струей
градиент температуры, °C



Окончание табл. 4

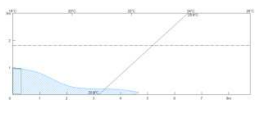
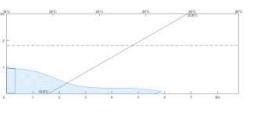
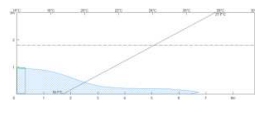
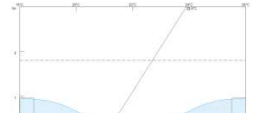
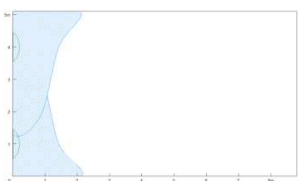
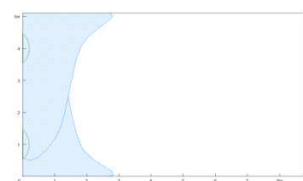
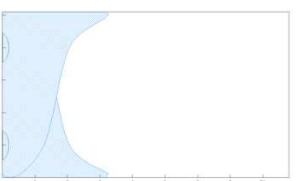
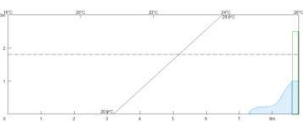
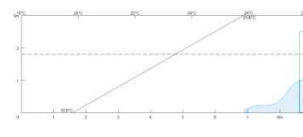
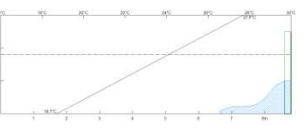
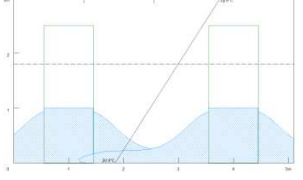
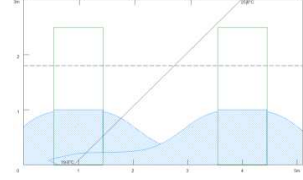
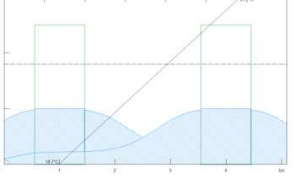
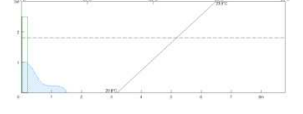
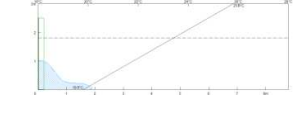
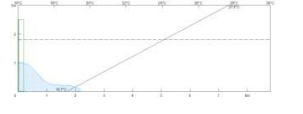
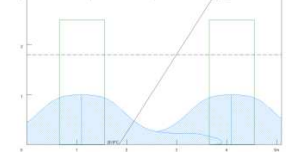
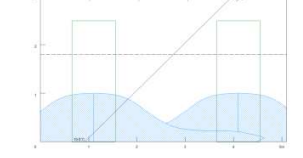
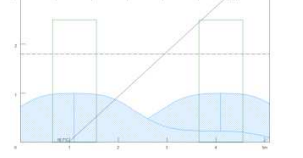
вид	градиент температуры, °С		
	1	2	3
спереди			
слева			

Таблица 5

Распределение воздуха 3-сторонней приточной струей

вид	градиент температуры, °С		
	1	2	3
сверху			
сзади			
справа			
спереди			
слева			

При более детальном рассмотрении схем, приведенных в табл. 3...5 видно, что температуры воздуха в верхней и нижней зонах помещения идентичны и не зависят от видов низкоскоростных воздухораспределителей. Однако очевидны различия в форме распространения воздушных потоков на плане помещения, что обусловлено конструктивными особенностями и местоположением приточных устройств.

Рассмотрим изменение теплового режима внутреннего воздуха в зависимости от градиента температуры при постоянной высоте помещения, равной 3 метра (рис. 2).

В соответствии с представленным графическим изображением (рис. 2), максимальное отклонение от температуры в рабочей зоне достигается под потолком помещения и составляет 5,7 °С при градиенте равном 3 °С/м. В этом случае, при расчетном подтверждении изменения теплового поля до требуемых показателей в местах расположения кресел, приточный воздух можно подавать с температурой 14,4 °С, тем самым обеспечивая энергосберегающий режим эксплуатации системы вентиляции.

На рис. 3...5 представлены зависимости температур воздуха от высоты помещения при различных градиентах: $\Delta t=1$ (рис. 3), $\Delta t=2$ (рис. 4), $\Delta t=3$ (рис. 5). При этом, значения температур (см. рис. 3...5), выделенные красным цветом, программой ProAirWeb отмечены как «ненадежные».

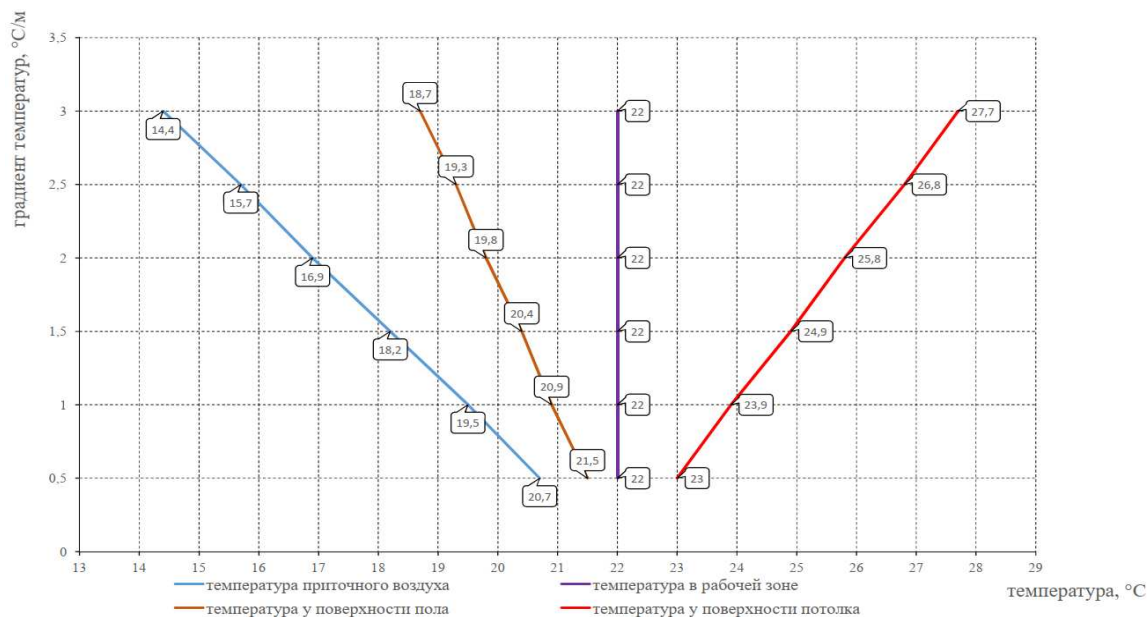


Рис. 2. Показатели температуры воздуха в холодный период года: приточного, рабочей зоны, у поверхности пола (нижняя зона) и у поверхности потолка (верхняя зона) при изменении градиента температуры

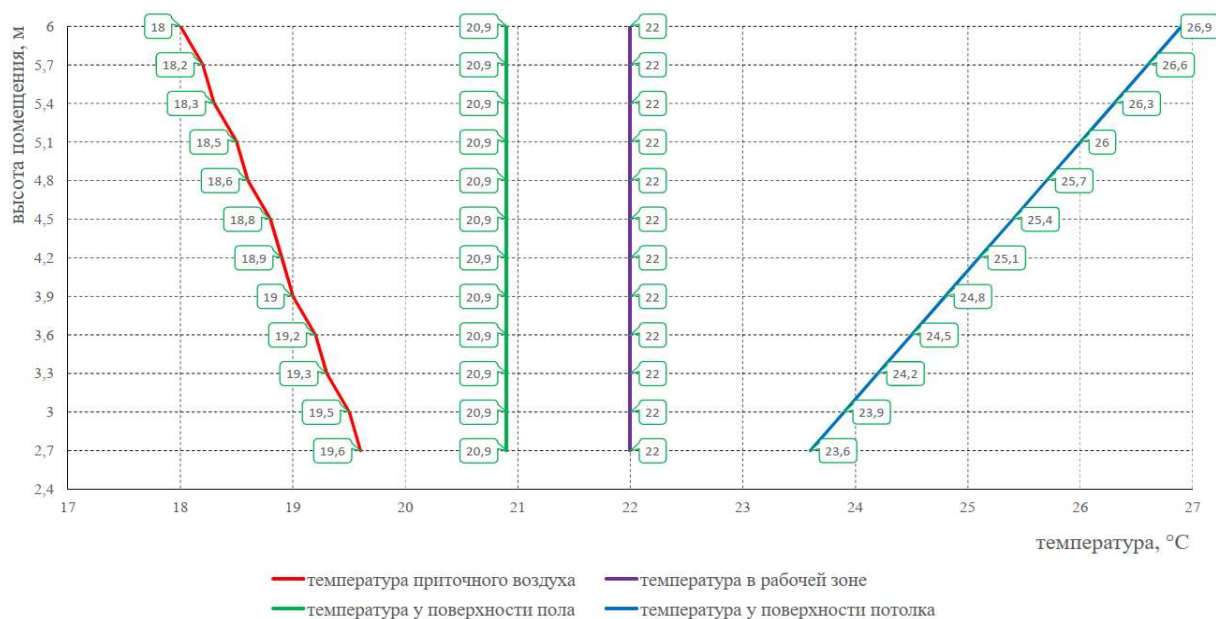


Рис. 3. Зависимость температур: приточного воздуха, в помещении, у поверхности пола (нижняя зона) и у поверхности потолка (верхняя зона) от высоты помещения при температурном градиенте $\Delta t=1$

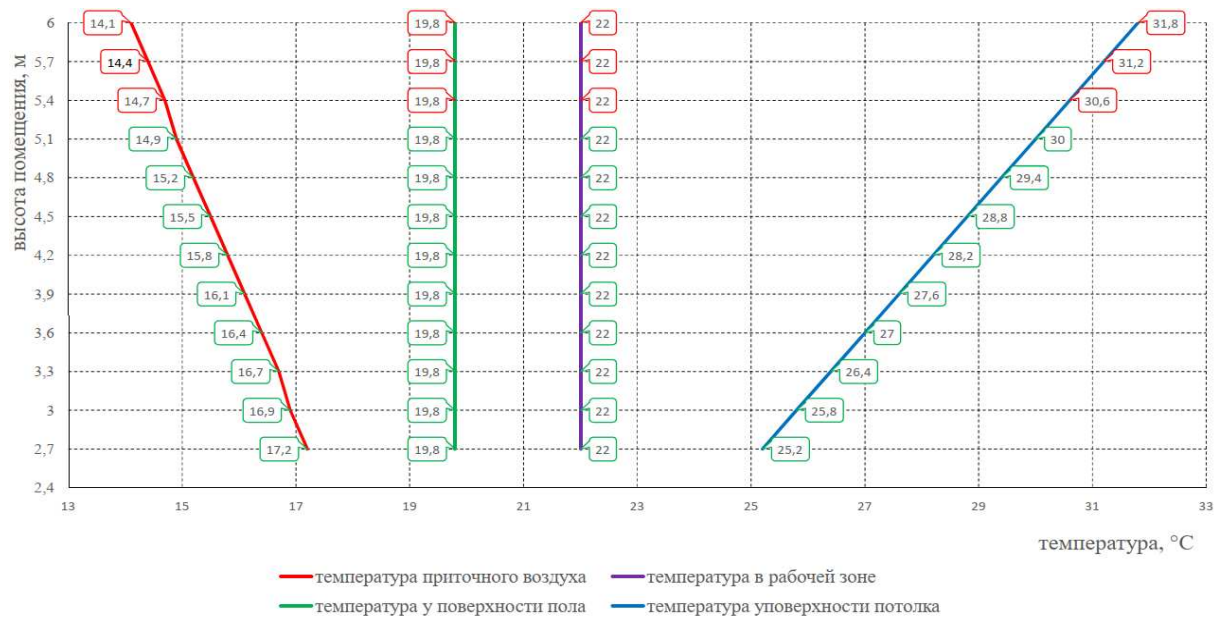


Рис. 4. Зависимость температур: приточного воздуха, в помещении, у поверхности пола (нижняя зона) и у поверхности потолка (верхняя зона) от высоты помещения при температурном градиенте $\Delta t=2$

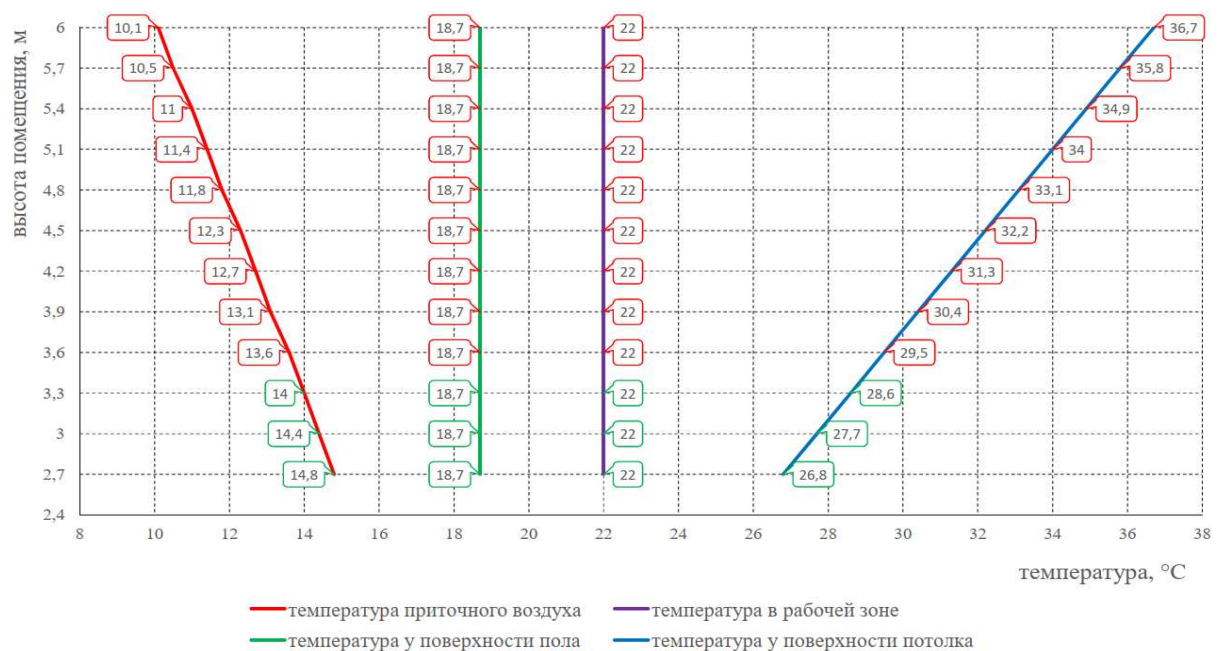


Рис. 5. Зависимость температур: приточного воздуха, в помещении, у поверхности пола (нижняя зона) и у поверхности потолка (верхняя зона) от высоты помещения при температурном градиенте $\Delta t=3$

Как видно из рис. 3...5, при требуемом постоянстве температуры воздуха в рабочей зоне температура у поверхности пола изменяется от 18,7 до 20,9 °C, что не создает дискомфорта для находящихся в зале людей.

Эффективность удаления теплоизбытков (K_t) из воздуха помещения определяется по формуле [7]:

$$K_t = \frac{t_{yx} - t_{np}}{t_{o.з.} - t_{np}}, \quad (1)$$

где t_{yx} – температура уходящего воздуха, °C; t_{np} – температура приточного воздуха, °C; $t_{o.з.}$ – температура обслуживаемой зоны, °C.

Значения K_t , определенные из расчетных условий, показывают, что зависимость коэффициента эффективности удаления теплоизбытков от высоты помещения при высоком

значении величины детерминации носит экспоненциальный характер (рис. 6) и изменяется от 1,67 (при высоте помещения 2,7 м) до 2,24 (при высоте помещения 6,0 м).

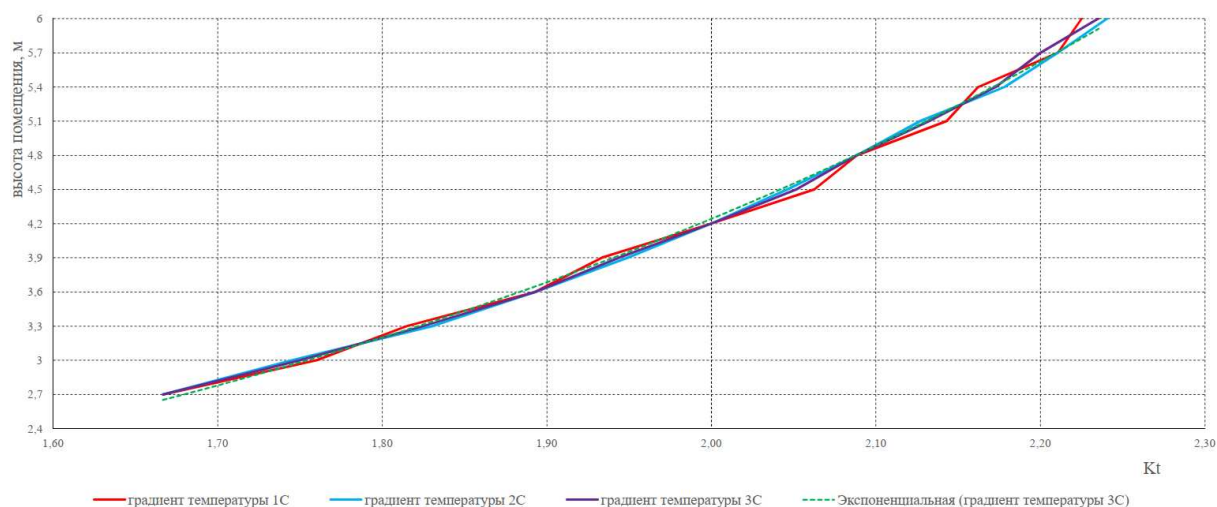


Рис. 6. Значение коэффициента эффективности удаления теплоизбытков в зависимости от высоты помещения

В соответствии с полученными данными (рис. 6), уравнение для коэффициента эффективности принимает вид:

$$K_t = a \times e^{bh}, \quad (2)$$

где h – высота помещения, м; a , b – коэффициенты аппроксимации, для расчетных условий моделирования принимаются по табл. 6.

Таблица 6

Значения коэффициентов для формулы (2)

Δt	a	b
1	0,2545	1,4067
2	0,2595	1,3961
3	0,2534	1,409

Наряду с расчетной формулой (1) в работе [8] предложено использовать зависимость:

$$K_t = \left(1 - \frac{Q_{в.з.}}{Q_{о.з.}}\right) \times A, \quad (3)$$

где $Q_{в.з.}$, $Q_{о.з.}$ – избыточные явные теплопоступления, соответственно в верхнюю и в обслуживаемую зону помещения, Вт; A – коэффициент, определяемый в зависимости от величины расхода приточного воздуха, рабочей разности температур, размеров воздухораспределителя, удельных избыточных явных теплопоступлений.

Так как сложность расчетов по формуле (3) заключается в достаточной неопределенности значений коэффициента A , то при условии проектирования вытесняющей вентиляции в общественных зданиях, можно использовать зависимость (2) с коэффициентами $a = 0,25$; $b = 1,4$, допускающими незначительную погрешность в последующем определении расхода воздуха по формуле [9]:

$$L_{пр} = L_{р.з.} + \frac{3,6Q + cL_{р.з.}(t_{р.з.} - t_o)}{cK_t(t_{р.з.} - t_o)}, \quad (4)$$

где $L_{пр}$ – количество (расход) приточного воздуха, м³/ч; $L_{р.з.}$ – расход воздуха, удаляемого из рабочей зоны местными отсосами, общеобменной вентиляцией и на технологические нужды, м³/ч; t_o , $t_{р.з.}$ – температуры воздуха соответственно подаваемого в помещение и в рабочей зоне, °С; Q – избыточный явный тепловой поток в помещение, Вт; c – теплоемкость воздуха, кДж/(м³*°С).

Тогда в соответствии с выражением (4), чем выше коэффициент эффективности, тем меньше требуется подавать приточного воздуха и тем меньше ресурсов расходуется на его обработку. Также следует отметить, что от способа организации воздухообмена и подобранных воздухораспределителей зависит в целом эффективность работы вентиляции в помещении [10].

Заключение.

Результаты моделирования температурных полей в конференц-зале с вытесняющей вентиляцией при различных видах низкоскоростных воздухораспределителей показали, что тепловой режим в верхней и нижней зонах помещения, как правило, идентичен и не зависит от видов приточных устройств. Различие в формировании воздушных потоков обусловлено конструкцией и местоположением концевых элементов вентиляционных систем.

Анализ изменений в показателях коэффициента эффективности (коэффициента воздухообмена) удаления теплоизбытков при увеличении высоты помещения с вытесняющей вентиляцией позволил выявить его экспоненциальную зависимость. Полученная зависимость может быть использована для расчетов с исходными данными, близкими к рассмотренным в данной статье.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гримитлин, М. И.** Распределение воздуха в помещениях / М. И. Гримитлин. – Санкт-Петербург: АВОК Северо-Запад, 2004. – 319 с.
2. **Назаров, А. В.** Оптимизация воздухораспределения для достижения оптимального качества вентиляции / А. В. Назаров // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 102-5. – С. 198-200.
3. **Вытесняющая вентиляция в непроизводственных зданиях** / Э. Мундт [и др.]. – Москва: АВОК, 2006. – 104 с.
4. Преимущества вытесняющей вентиляции используемых в зданиях различного назначения / А. И. Еремкин, И. К. Пономарева, А. А. Мишин, А. В. Мочалов // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2022. – № 3(40). – С. 168-175.
5. **Фролов, М. В.** Особенности программ по подбору воздухораспределителей для систем вентиляции / М. В. Фролов, Д. С. Шворяк, Ю. Н. Шарова // Дневник науки. – 2022. – № 11(71).
6. **Каштанова, Д. С.** Повышение эффективности вентиляции конференцзалов / Д. С. Каштанова, Н. В. Ткаченко // Материалы 61-й студенческой научно-технической конференции инженерно-строительного института ТОГУ: Материалы конференции, Хабаровск, 19...23 апреля 2021 года. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2021. – С. 353-356.
7. **Белова, Е. М.** Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях / Е. М. Белова. – Москва: Евроклимат, 2006. – 640 с.
8. **Гримитлин, А. М.** О расчете подачи воздуха в рабочую зону / А. М. Гримитлин, Г. М. Позин // Инженерные системы, АВОК Северо-запад. – 2004. – № 3(15). – С. 14-23.
9. **Позин, Г. М.** Новый подход к оценке эффективности воздухообмена / Г. М. Позин // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4. – С. 95.
10. Определение способа воздухообмена и воздухораспределителей в системах вытесняющей вентиляции / А. И. Еремкин, И. К. Пономарева, А. А. Мишин, А. В. Мочалов // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2022. – № 2(39). – С. 156-161.

Поступила в редакцию 15 сентября 2025

SIMULATION OF THE AIR TEMPERATURE DISTRIBUTION IN A ROOM WITH DISPLACEMENT VENTILATION

D. V. Lobanov, T. V. Shchukina, I. I. Zvenigorodsky, S. A. Safonov

Dmitry Valeryevich Lobanov, Senior Lecturer at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: LDV-36@mail.ru

Tatiana Vasilyevna Shchukina, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: schukina.niki@yandex.ru

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

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

In the article we consider a number of designs of low-speed air distributors with different types of generated air flows. We present the results of modeling air distribution using the ProAirWeb program from Swegon for a conference room equipped with forced ventilation. It has been established that the temperature regime of the indoor air in different areas of the room is identical and does not depend on the types of similar supply air devices, all other things being equal. We show the differences in the formation of air jets in the volume of the room, which is mainly due to the design features and location of the air distributors. We as well consider the change of the thermal regime depending on the temperature gradient at the same height of the room. Also, we demonstrate graphical dependencies and determine the parameters of the supply air temperature in the lower and upper zones of the room, ensuring the set temperature of the indoor air.

Keywords: displacing ventilation; air distribution; air exchange; thermal conditions of the room; modeling; efficiency of assimilation of heat surpluses.

REFERENCES

1. **Grimitlin M. I.** *Indoor air distribution*. St. Petersburg, AVOK North-West. 2004. 319 p. (in Russian)
2. **Nazarov A. V.** *Optimization of air distribution to achieve optimal ventilation quality*. Trends in the development of science and education. 2023. No. 102-5. Pp. 198-200. (in Russian)
3. **Mundt E.** *Displacing ventilation in non-industrial buildings*. Moscow, AVOK. 2006. 104 p. (in Russian)
4. **Eremkin A. I., Ponomareva I. K., Mishin A. A., Mochalov A.V.** *Advantages of displacement ventilation used in buildings for various purposes*. Education and science in the modern world. Innovation. 2022. No 3(40). Pp. 168-175. (in Russian)
5. **Frolov M. V., Shvoryak D. S., Sharova Yu. N.** *Features of programs for the selection of air distributors for ventilation systems*. Diary of science. 2022. No. 11(71). (in Russian)
6. **Kashtanova D. S., Tkachenko N. V.** *Improving the ventilation efficiency of conference rooms*. Proceedings of the 61st Student Scientific and Technical Conference of the TOGU Institute of Civil Engineering: Conference Proceedings. Khabarovsk. April 19-23, 2021. Khabarovsk, Pacific State University. 2021. Pp. 353-356. (in Russian)
7. **Belova E. M.** *Central air conditioning systems in buildings*. Moscow, Euroclimat. 2006. 640 p. (in Russian)
8. **Grimitlin A. M., Pozin G. M.** *On the calculation of the air supply to the work area*. Engineering Systems, AVOC Northwest. 2004. No. (15). Pp. 14-23. (in Russian)
9. **Pozin G. M.** *A new approach to assessing the effectiveness of air exchange*. Modern

problems of science and education. 2012. No. 4. 95 p. (in Russian)

10. **Eremkin A. I., Ponomareva I. K., Mishin A. A., Mochalov A. V.** *Determination of the method of air exchange and air distributors in the systems of displacement ventilation*. Education and science in the modern world. Innovation. 2022. No. 2(39). Pp. 156-161. (in Russian)

Received 15 September 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Моделирование распределения температуры воздуха в помещении с вытесняющей вентиляцией / Д. В. Лобанов, Т. В. Шукина, И. И. Звенигородский, С. А. Сафонов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 3(34). – С. 46-56. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.005.

FOR CITATION:

Lobanov D. V., Shchukina T. V., Zvenigorodsky I. I., Safonov S. A. *Simulation of the air temperature distribution in a room with displacement ventilation*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 3(34). Pp. 46-56. DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.005. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.006

УДК 621.645

ОЦЕНКА ИЗНОСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ И СООРУЖЕНИЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВИБРАЦИЙ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Н. А. Понявина, В. П. Матушкин

Понявина Наталья Александровна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии, организации строительства, экспертизы и управления недвижимостью, ФГОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел: +7(473)207-22-20; e-mail: zueva-natasha@mail.ru
Матушкин Владимир Павлович, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел: +7(473)207-22-20; e-mail: vladimir.matushkin.02@mail.ru

Современные методы мониторинга, включая комплексную диагностику и интегрированный анализ данных, играют ключевую роль в поддержании работоспособности компрессорных станций и магистральных трубопроводов. Эти технологии дают возможность своевременно выявлять потенциально опасные изменения в работе оборудования, предупреждать внезапные отказы и существенно сокращать риск возникновения аварийных ситуаций. Приведены результаты замеров вибрационных характеристик трубопроводов обвязки газоперекачивающих агрегатов. Особое внимание уделено анализу воздействия внешних факторов на конструктивную целостность трубопроводных узлов, в частности обвязки газоперекачивающих агрегатов и узла очистки.

Ключевые слова: вибродиагностика; технологический трубопровод; вертикальные перемещения; высотное положение; виброскорость.

Газовая отрасль является ключевым звеном в обеспечении энергетической безопасности государства. Транспортировка природного газа от месторождений к конечным потребителям осуществляется через разветвленную сеть магистралей и сопутствующей инфраструктуры, образующих единую газотранспортную систему (ГТС). В процессе перекачки возникают гидравлические сопротивления, вызывающие падение давления в магистральных газопроводах (МГ). Это явление ограничивает возможность использования природного пластового давления для дальних транспортировок энергоресурсов [1, 2].

Важнейшим технологическим звеном ГТС выступают компрессорные станции (КС), выполняющие функции повышения давления и регулирования потока транспортируемого газа. Особое значение в газовой отрасли отводится вопросам промышленной безопасности, особенно на объектах трубопроводного транспорта, включая КС. Надзорные органы, в частности Ростехнадзор, устанавливают строгие правила для эксплуатации технологического оборудования, производственных зданий и сооружений, трубопроводов [3].

В ходе модернизации на компрессорных станциях приоритет обычно отдается замене устаревших газоперекачивающих агрегатов (ГПА), тогда как технологические трубопроводы заменяются значительно реже. Такой подход обусловлен экономическими и техническими факторами, однако приводит к необходимости особого внимания к оценке остаточного ресурса трубопроводных систем [4].

Стабильная и безопасная транспортировка природного газа потребителям представляет собой важную задачу для топливно-энергетического комплекса. Реализация данной задачи требует внедрения современных программ технического диагностирования. Подобные программы дают возможность анализировать усталостные характеристики технологических трубопроводов, прогнозировать изменение механического состояния конст-

рукций, выявлять потенциальные угрозы, устранять дефекты на ранних стадиях, предотвращать возможные повреждения и аварии на опасных производственных объектах [5].

Реализация описываемых ниже диагностических мероприятий обеспечивает поддержание работоспособности трубопроводных систем КС и гарантирует безопасность газотранспортных операций.

В ходе эксплуатации трубопроводы компрессорной станции подвергаются сезонным колебаниям высот, что приводит к росту механических напряжений. Контроль вертикальных перемещений трубопроводов осуществляется методом геодезических измерений регулярно 2 раза в год (весной и осенью) [6, 7]. На рис. 1 показаны точки геодезического контроля на территории компрессорной станции «Давыдовская» ООО «Газпром трансгаз Москва». Контроль изменений высотных отметок был выполнен авторами с помощью нивелира в весенний период 2025 г.

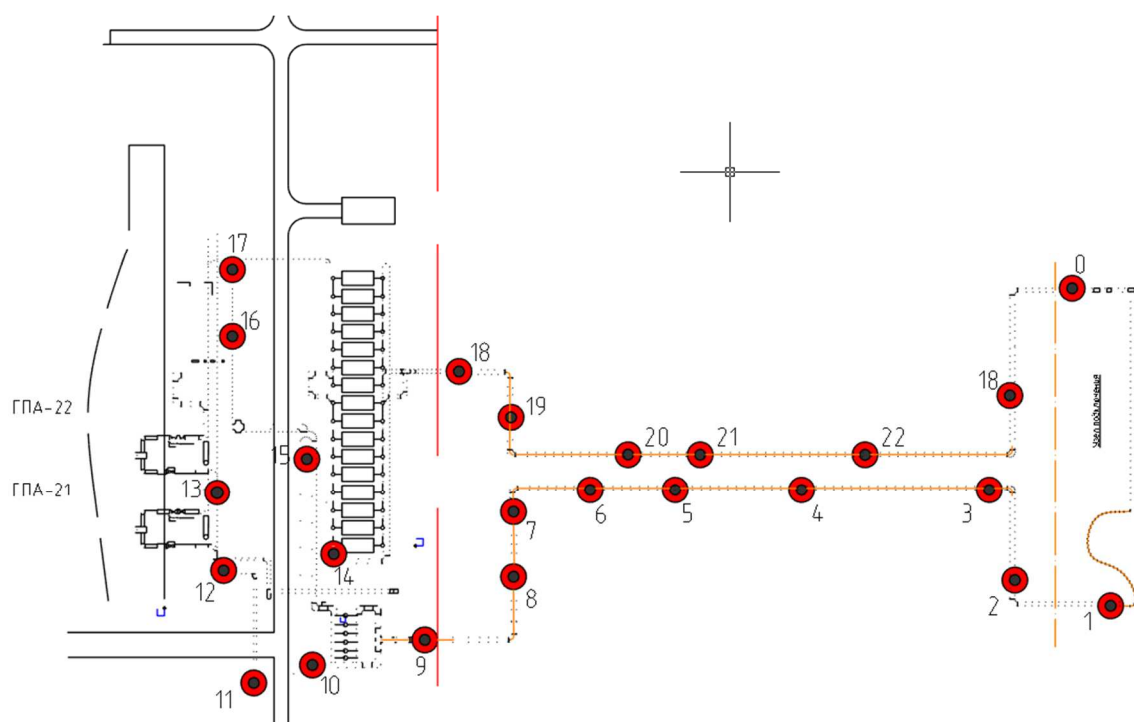


Рис. 1 Схема расположения точек геодезического контроля на территории компрессорной станции

По результатам проведенных обследований было выявлено, что максимальное значение отклонения вертикального положения в пределах погрешности измерения, и не превышает 2 мм, что соответствует нормативному документу «ИНС ГТМ 02/01/01-1021-2023 Инструкция по контролю вертикальных положений технологических трубопроводов компрессорных станций». На рис. 2 показаны значения отклонений вертикальных положений в точках, указанных на рис. 1. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что положение трубопроводов соответствует проектной документации, следовательно, при их эксплуатации отсутствуют значительные механические напряжения.

Кроме контроля вертикальных перемещений для анализа технического состояния трубопроводов применяется вибродиагностика. Вибрационному обследованию подлежат трубопроводы в обвязке центробежных нагнетателей ГПА, входные и выходные трубопроводы узла очистки газа, то есть места возникновения наиболее сильной вибрации [8, 9]. Замеры производились на территории компрессорной станции «Давыдовская» виброанализатором STD-3300 при следующих параметрах: давление газа на входе – 54,7 кгс/см², давление газа на выходе – 67,3 кгс/см², температура газа на входе – 11,7 °С, температура газа на выходе – 26 °С, частота вращения турбины низкого давления – 81 % от номинального значения.

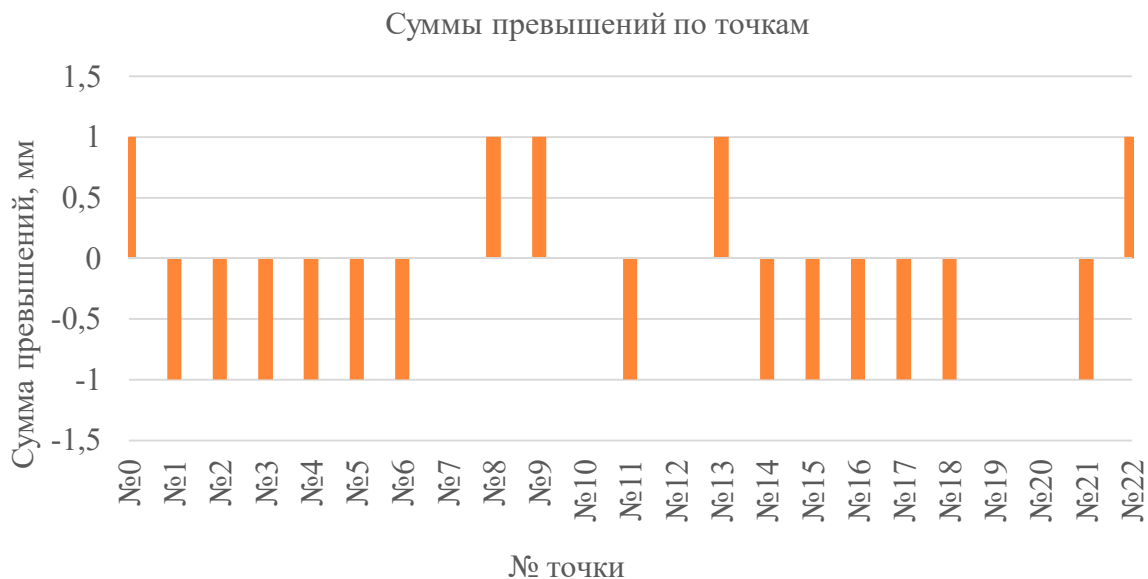


Рис. 2. Изменения высотного положения контрольных точек

В соответствии с представленной схемой (рис. 3) были выполнены измерения вибрационных характеристик трубопроводов обвязки нагнетателя газоперекачивающего агрегата. Исследования проводились во взаимно перпендикулярных направлениях: горизонтальном и вертикальном.

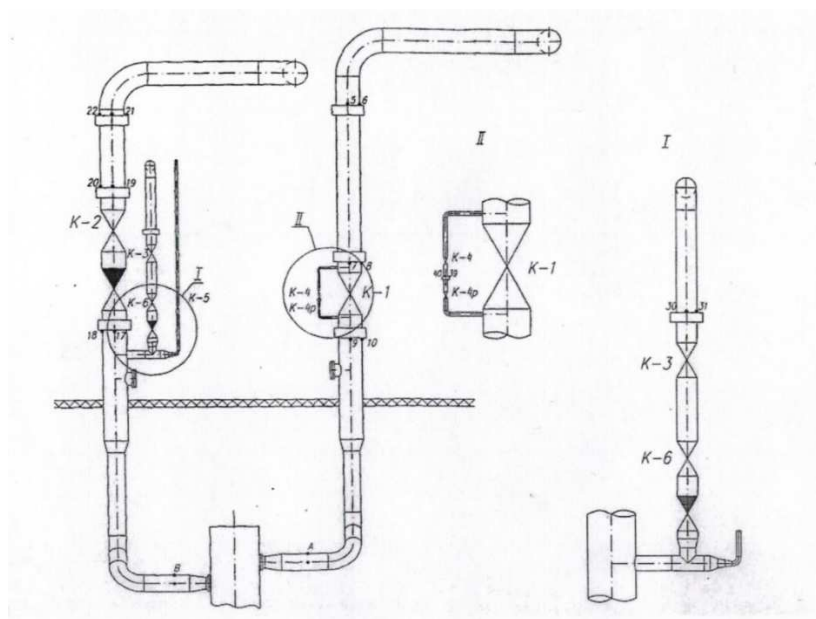


Рис. 3. Схема обвязки нагнетателя ГПА с указанием точек измерения вибрации трубопроводов

Значения виброскорости в точках замера показаны на рис. 4.

Исследование показало, что значение уровней виброскорости в точках замера не превышает 11,25 мм/сек, что соответствует допустимым значениям согласно нормативному документу СТО ГТМ 46/03-809-2018.



Рис. 4. Значения виброскорости в характерных точках трубопроводов в обвязке нагнетателя

Замеры вибрации трубопроводов узла очистки газа производились в точках, указанных на рис. 5. Замеры проводились в горизонтальном направлении.

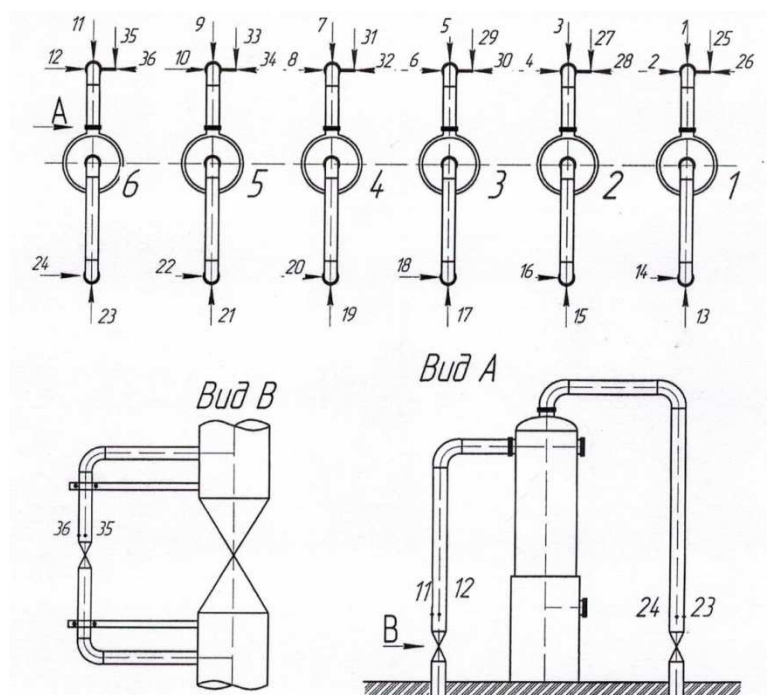


Рис. 5. Схема трубопроводов узла очистки с указанием точек измерения вибрации

Значения виброскорости в точках замера показаны на рис.6.

Исследование показало, что среднеквадратическое значение уровней виброскорости в точках замера не превышает 5 мм/сек, что соответствует допустимым значениям согласно нормативному документу «ИНС ГТМ 02/01/02-887-2021 Инструкция по проведению диагностического обследования надземных технологических трубопроводов обвязок ПУ газа».



Рис. 6. Значения виброскорости в характерных точках трубопроводов узла очистки

Заключение.

На основании комбинированного анализа полученных данных об изменениях высотного положения трубопроводов и значений виброскорости можно сделать вывод, что технологические трубопроводы компрессорной станции находятся в удовлетворительном состоянии и, соответствуют требованиям промышленной безопасности.

Представлены результаты измерений значений виброскорости в характерных узлах компрессорной станции. Отрицательной динамики в изменении состояния трубопроводов не обнаружено, вероятность возникновения отказов и аварийных ситуаций минимальна, следовательно, трубопроводы пригодны к дальнейшей безопасной эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Обеспечение надежности магистральных трубопроводов:** учебное пособие / А. А. Коршак, Г. Е. Коробков, В. А. Душин, Р. Р. Набиев. – Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2000. – 170 с.
2. Использование интеллектуальных систем для диагностики неисправностей газоперекачивающих агрегатов / П. Г. Антропов, О. Н. Долинина, А. К. Кузьмин, А. Ю. Шварц // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 115-127.
3. **Рамазанов, Р. М.** Диагностирование состояния трубопроводных обвязок компрессорных станций / Р. М. Рамазанов, М. И. Рамазанов, К. Ж. Губайдуллин // Достижения науки и образования. – 2020. – № 2(56). – С. 5-10.
4. Совершенствование технического обслуживания и ремонта оборудования компрессорных станций / А. М. Короленок, Д. Н. Левитский, А. С. Лопатин и др. // Магистральные и промышленные трубопроводы: проектирование, строительство, эксплуатация и ремонт. – Том 1. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина. – 2005. – С. 6-21.
5. **Микаэлян, Э. А.** Особенности применения вибродиагностики газоперекачивающих агрегатов при эксплуатации / Э. А. Микаэлян // Газовая промышленность. – 2011. – № 2(656). – С. 68-72.
6. **Соколинский, Л. И.** Вибродиагностика технологических трубопроводов нефтегазового комплекса: учебное пособие / Л. И. Соколинский. – Москва: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2020. – 131 с.

7. **Соколинский, Л. И.** Вибродиагностика технологических трубопроводов и машин газовой, нефтяной и нефтеперерабатывающей отраслей промышленности. Общие положения. Первичные преобразователи. Нормирование колебаний / Л.И. Соколинский. – Москва: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2020. – 114 с.

8. **Пономаренко, Ю. Б.** Расчетные методы устранения низкочастотных колебаний потока в коммуникациях эксплуатируемых и проектируемых КС / Ю. Б. Пономаренко // Сборник трудов Первой международной конференции "Энергодиагностика". – Т.2. – Москва: ИРЦ Газпрома, 1995. – С. 267-272.

9. **Соколинский, Л. И.** О нормировании вибрации технологических трубопроводов поршневых компрессоров компрессорных станций ПАО "Газпром" / Л. И. Соколинский, А. С. Зарецкий, В. Г. Юдин // Газовая промышленность. – 2018. – № 8. – С. 66-70.

Поступила в редакцию 16 сентября 2025

EVALUATION OF WEAR AND TEAR OF PROCESS PIPELINES AND COMPRESSOR STATION STRUCTURES UNDER THE INFLUENCE OF VIBRATIONS AND VERTICAL DISPLACEMENTS

N. A. Ponyavina, V. P. Matushkin

Natalia Aleksandrovna Ponyavina, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Technology, Organization of Construction, Expertise and Real Estate Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: zueva-natasha@mail.ru

Vladimir Pavlovich Matushkin, master's student at 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: vladimir.matushkin.02@mail.ru

Modern monitoring methods, including comprehensive diagnostics and integrated data analysis, play a key role in maintaining the performance of compressor stations and trunk pipelines. These technologies make it possible to detect potentially dangerous changes in equipment operation in a timely manner, prevent sudden failures and significantly reduce the risk of emergencies. Here we present the results of measurements of vibration characteristics of pipelines that pipe gas through pumping units. In the article special attention is paid to the analysis of the impact of external factors on the structural integrity of pipeline units, in particular, the piping of gas through the pumping units and purification one.

Keywords: vibrodiagnostics; technological pipeline; vertical displacements; altitude position; vibration velocity.

REFERENCES

1. **Korshak A. A., Korobkov G. E., Dushin V. A., Nabiev R. R.** *Ensuring the reliability of main pipelines: a tutorial*. Ufa. "DesignPoligrafServis" LLL. 2000. 170 p. (in Russian)
2. **Antropov P. G., Dolinina O. N., Kuzmin A. K., Schwartz A. Yu.** *Using Intelligent Systems to Diagnose Faults in Gas-Pumping Units*. Modern Problems of Science and Education. 2013. No. 6. Pp. 115-127. (in Russian)
3. **Ramazanov R. M., Ramazanov M. I., Gubaydullin K. Zh.** *Diagnostics of the condition of piping ties of compressor stations*. Achievements of science and education. 2020. No. 2(56). Pp. 5-10. (in Russian)
4. **Korolenok A. M., Levitsky D. N., Lopatin A. S. et al.** *Improving the technical maintenance and repair of compressor station equipment*. Main and field pipelines: design, construction, operation and repair. Volume 1. Moscow. Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University). 2005. Pp. 6-21. (in Russian)

5. **Mikaelyan E. A.** *Features of the application of vibration diagnostics of gas pumping units during operation.* Gas industry. 2011. No. 2(656). Pp. 68-72.

6. **Sokolinsky L. I.** *Vibration diagnostics of process pipelines of the oil and gas complex.* Study guide. Moscow. Publishing center of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University). 2020. 131 p. (in Russian)

7. **Sokolinsky L. I.** *Vibration diagnostics of process pipelines and machines in the gas, oil and oil refining industries. General provisions. Primary converters. Normalization of vibrations.* Moscow. Publishing Center of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University). 2020. 114 p. (in Russian)

8. **Ponomarenko Yu. B.** *Calculation methods for eliminating low-frequency flow oscillations in communications of operated and designed compressor stations.* Collection of works of the First international conference "Energy diagnostics". Vol. 2. Moscow, IRC Gazprom. 1995. Pp. 267-272. (in Russian)

9. **Sokolinsky L. I., Zaretsky A. S., Yudin V. G.** *On the standardization of vibration of process pipelines of piston compressor stations of PJSC Gazprom.* Gas industry. 2018. No. 8. Pp. 66-70. (in Russian)

Received 16 September 2025

Для цитирования:

Понявина, Н. А. Оценка износа технологических трубопроводов и сооружений компрессорной станции под воздействием вибраций и вертикальных перемещений / Н. А. Понявина, В. П. Матушкин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 3(34). – С. 57-63. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.006.

FOR CITATION:

Ponyavina N. A., Matushkin V. P. *Evaluation of wear and tear of process pipelines and compressor station structures under the influence of vibrations and vertical displacements.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 3(34). Pp. 57-63. DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.006. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.007

УДК 697.7

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АЛЬТЕРНАТИВНОГО СОЛНЕЧНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ С ЧИСТЫМИ ПОМЕЩЕНИЯМИ

И. С. Курасов, Т. В. Щукина, К. А. Иванкин

Курасов Илья Сергеевич, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(951)550-08-40; e-mail: ilya.kurasov@yandex.ru

Щукина Татьяна Васильевна, 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: schukina.niki@yandex.ru

Иванкин Кирилл Алексеевич, аспирант кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(952)958-23-40; e-mail: kirilivankin@yandex.ru

Рассмотрена возможность использования солнечной энергии для производственных зданий, имеющих в составе чистые помещения лабораторного назначения с наружными ограждениями, состоящими из двойных стен с воздушной прослойкой. Приведено схемное решение вертикального солнечного коллектора, расположенного воздушной прослойке наружной стены. Рассмотрены особенности проектирования энергоактивных наружных ограждений с интегрированными солнечными коллекторами, теплота от которых может быть направлена как на теплоснабжение объекта, так и на генерацию холода в абсорбционных машинах. Представлены результаты расчетов, выполненных на примере биофабрики в Ставропольском крае, представленные в виде графиков, иллюстрирующих расчетную теплопроизводительность. Проведена оценка сокращения потребления традиционных ресурсов при размещении интегрированных солнечных стеновых коллекторов при размещении на южном и западном фасадах здания.

Ключевые слова: солнечная энергия; наружные ограждения; интегрированный солнечный коллектор; энергосбережение

Возрастающая в результате государственных программ поддержки животноводческой деятельности, с учетом повышения требований к качеству продукции и ее биологической безопасности, приводит к увеличению объемов производства ветеринарных препаратов и кормов, что, в свою очередь, способствует строительству новых агробиологических комплексов, способных обеспечивать растущие запросы отрасли [1...3]. Эксплуатация биофабрик, выпускающих ветеринарные лекарства, сопровождается высоким энергопотреблением, так как технологические процессы производства предполагают как высокотемпературные операции, связанные с получением необходимых биологических штаммов или компонентов в инкубационной среде с температурой около 35 °С, так и низкотемпературные, связанные с хранением конечного продукта [4]. В связи с этим строительство такого рода объектов происходит единым комплексом на территории с централизованным теплоснабжением от котельной или мини-ТЭЦ [5...7].

Другая особенность биофабрик при условиях работы с патогенными микроорганизмами, в том числе высокого класса биологической опасности, предполагает повышенные требования к качеству воздушной среды. Лабораторные технологические процессы реализуются только в чистых помещениях, соответствующих ГОСТР ИСО 14644-1-2017 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды» и ГОСТ Р 56640-2015 «Чис-

тые помещения. Проектирование и монтаж. Общие требования», и отличающихся строгим нормированием класса чистоты воздушной среды [8...9]. Такие сложные производственные условия накладывают дополнительные требования на системы обеспечения микроклимата, тепло- и холодоснабжения, так как от эффективности их работы будет напрямую зависеть качество выпускаемой продукции [4...5, 8].

Наличие чистых помещений также накладывает определенные требования к архитектурно-планировочным решениям зданий биофабрик, а именно:

- ✓ пространство здания разделено на функциональные зоны с учетом Правил надлежащей производственной практики (GMP) и ГОСТ Р 52249–2009 «Правила производства и контроля качества лекарственных средств». Так как зоны имеют различные классы чистоты, то для исключения перетока возможных загрязнений они разделяются тамбур-шлюзами и передаточными боксами с учетом технологического движения персонала и материалов (продукции, полуфабрикатов).

- ✓ чистые помещения не должны иметь наружных ограждений, вследствие чего ограждающие конструкции чистых помещений всегда отделены от наружной оболочки здания. Образующееся в результате пространство обычно используют для прокладки коммуникаций: располагают технологические трубопроводы, трубы систем отопления.

- ✓ качество воздуха обеспечивается за счет точной работы систем центрального кондиционирования, требующих большого объема полезного пространства для размещения оборудования и его эксплуатации. Для этого выделяется запотолочное пространство, нередко соответствующее по размерам полноценному отдельному этажу (так называемые, ходимые потолки).

- ✓ около половины здания предусмотрено под размещение инженерного оборудования, обслуживающего технологическую часть здания.

Для конкретизации представленных утверждений рассмотрим в качестве примера один из проектируемых корпусов фабрики по производству ветеринарных лекарственных препаратов, располагающейся в г. Ставрополь (рис. 1).



Рис. 1. Визуализация внешнего вида западного и южного фасадов из архитектурного проекта

Корпус представляет собой 4-х этажное здание, имеющее прямоугольную в плане форму. Конструктивная схема – каркасная. Наружные ограждающие конструкции выполнены из сэндвич-панелей заводской сборки. Внутренние ограждения выполнены из герметичных сэндвич-панелей для чистых помещений и из сборных панелей без требований к

герметичности – для остальных помещений. Некоторые технико-экономические показатели объекта представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технико-экономические показатели проектируемой фабрики

Наименования показателя	Значение
Общий строительный объем, м ³	34921,33
Строительный объем под инженерное обеспечение, м ³ , в том числе:	18522,08
Объем запотолочного пространства (1 и 2 производственные этажи)	10904,30
Технический этаж (размещение вентустановок и холодильного центра)	5455,53
Подвал (ИТП, водоподготовка, очистка стоков)	2162,25
Общая площадь здания в границах наружных стен, м ²	6229,59
Общая площадь помещений, м ²	5731,10

Детальное рассмотрение проектной документации по объекту дает основание полагать, что в объемно-планировочных решениях выделяется достаточный объем под размещение инженерных коммуникаций. При этом, в проектных решениях остается практически не задействован объем, выделенный между ограждающими конструкциями чистых помещений и наружными ограждениями, а наличие окон на южном фасаде никак не обусловлено проектными решениями: в чистых помещениях окна не предусмотрены (рис. 2).

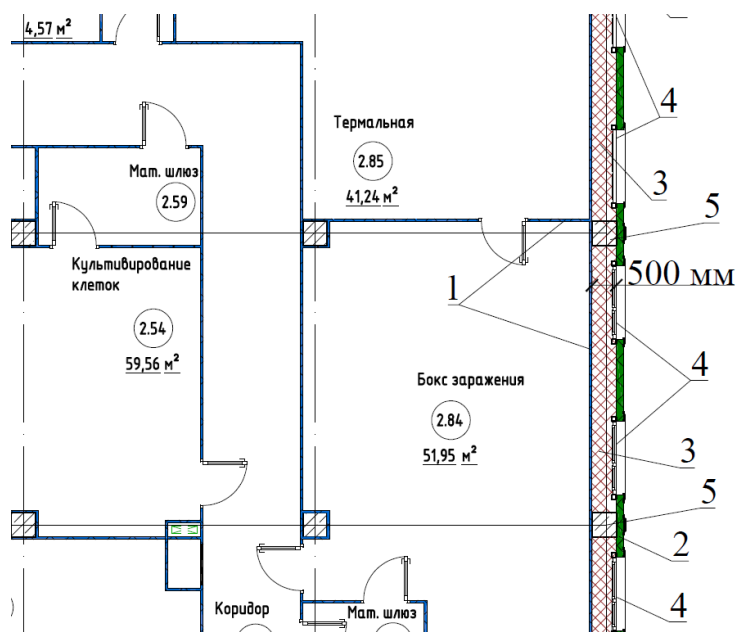


Рис. 2. Фрагмент плана 2 этажа с фрагментом стены южного фасада:

- 1 – сэндвич панели герметичного исполнения; 2 – наружные сэндвич-панели;
3 – незадействованное пространство; 4 – незадействованные окна; 5 – колонны

Кроме того, согласно рис. 2, из-за плотного примыкания колонн 5 к внутренними сэндвич-панелям чистых помещений, данное пространство не может использоваться для прокладки, например, трубопроводов системы отопления или сетей электроснабжения – для этих целей более удобно использовать запотолочное пространство.

Образующуюся неиспользуемую воздушную прослойку между наружными и внутренними стенами предлагается использовать в качестве вертикального солнечного коллектора, чему дополнительно способствует достаточный объем ресурсов солнечной радиации, обусловленный географическим расположением объекта [10, 11]. При этом, следует учитывать, что достаточно широко известные технологии, связанные с нагреванием внутреннего воздуха помещений (стена Тромба-Мишеля) в данном случае неприменимы

вследствие жестких требований к классу чистоты [12...15]. Перспективным вариантом в данных условиях будет размещение вертикальных гидравлических солнечных коллекторов, теплоту от которых можно будет направить для частичного покрытия нагрузок системы теплоснабжения. В теплый период года, теплота, аккумулируемая в коллекторах, может стать источником низкопотенциального тепла для абсорбционных холодильных машин (АБХМ), что позволит вырабатывать холод [16]. Такое решение повысит экономическую эффективность инженерных систем и приведет к снижению стоимости производства.

Конструкция стены в этом случае будет состоять из сэндвич-панели, отделяющей чистое помещение от пространства прослойки и имеющей с внешней стороны трубопроводы для теплоносителя, а так же темное поглощающее покрытие на поверхности панелей и трубопроводов (рис. 3). Для снижения потерь в окружающую среду предусмотрено светопрозрачное ограждение в виде стекла или поликарбоната, установленное с образованием воздушной прослойки вровень с наружными сэндвич-панелями (рис. 4).

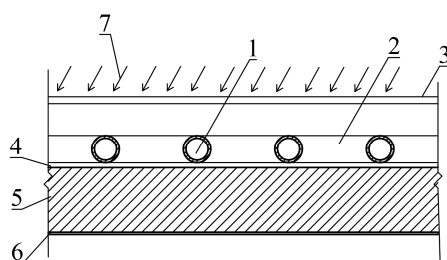


Рис. 3. Фрагмент разреза конструкции солнечного коллектора, интегрированного в наружное ограждение:

- 1 – вертикальные трубки; 2 – нижний распределительный трубопровод;
- 3 – наружное светопрозрачное ограждение; 4 – внешняя поглощающая поверхность сэндвич-панели;
- 5 – тепловая изоляция; 6 – внутренняя поверхность ограждения для чистого помещения;
- 7 – поток солнечной радиации (направление показано произвольно)

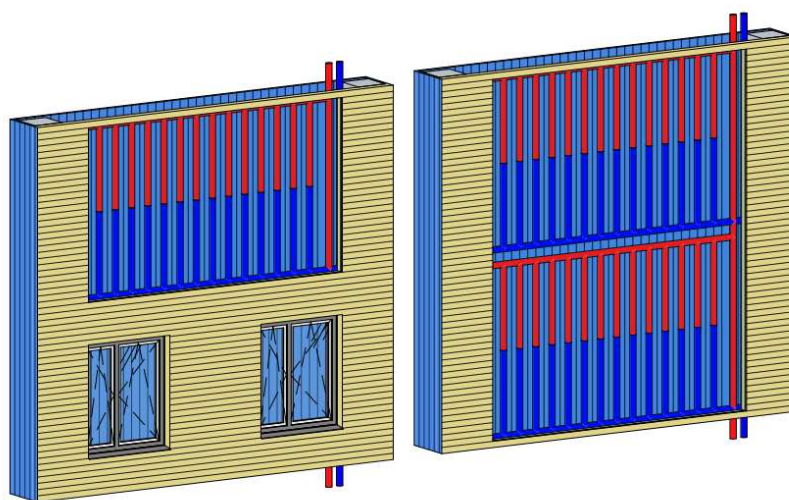


Рис. 4. Расположение коллекторов на фрагменте фасада здания

Предлагаемая к рассмотрению конструкция (рис. 3, рис. 4) может быть выполнена в заводских условиях в виде готового к монтажу блока, что позволит применять ее на любых производственных зданиях унифицировано.

Рассматриваемая схема утилизации солнечной энергии предполагает, что движение воды в каналах коллектора будет происходить за счет искусственной циркуляции. Поэтому принимаемые в расчет диаметры трубопроводов подбираются не только по расходу нагреваемой среды, но и с учетом рекомендуемых скоростей [17, 18], поддерживаемых

насосной группой. Изменяя сечения каналов и определяя, при какой вариации обеспечиваются лучшие условия выработки тепла требуемого температурного режима при площади 1 м^2 поглощающей поверхности, осуществляется подбор параметров конструкции стенового коллектора. Выполнение расчетов может быть произведено в соответствии с методикой, применяемой в [14, 18, 19].

В первую очередь определяется энергооблученность в климатической зоне района строительства для вертикальной поверхности площадью 1 м^2 в зависимости от ее ориентации по странам света. Для эффективного поддержания функции энергоактивности проектируемой конструкции целесообразно ее предусматривать для наружных ограждений южных направлений, включая, в том числе, восток и запад, что должно быть учтено в расчетах и принимаемых решениях.

Количество суммарной солнечной радиации, поступающей на 1 м^2 вертикальной поверхности в течение какого-либо месяца, можно определить в зависимости от широты местности по формуле, полученной посредством аппроксимации актинометрических данных [10]:

$$Q_s^i = a_0 + a_1\phi + a_2\phi^2 + a_3\phi^3, \quad (1)$$

где Q_s^i – поступление солнечной энергии на вертикальную поверхность площадью 1 м^2 , МДж/(мес.·м²); i – порядковый номер месяца; a_0, a_1, a_2, a_3 – коэффициенты, полученные посредством аппроксимации актинометрических данных, для южной ориентации принимаются по табл. 2; ϕ – широта района строительства, °с.ш.

Таблица 2

Значение коэффициентов a_0, a_1, a_2, a_3 для уравнения (1) при южной ориентации облучаемой вертикальной поверхности площадью 1 м^2 для Ставропольского края

Месяц	Значения коэффициентов			
	a_0	a_1	a_2	a_3
Март	2242,8	-107,59	2,307	-0,0155
Апрель	164,82	4,9732	0,0677	0
Май	-1940,40	197,390	-6,0733	0
Июнь	10821,00	-800,3600	22,5140	0
Июль	153,4	11,99	-0,415	0,0075
Август	-171	27,39	-0,529	0,0065
Сентябрь	339,96	3,628	0,0156	0
Октябрь	45,232	25,969	-0,2898	0

Определив месячное поступление солнечной энергии по формуле (1), следует найти средний за световое время суток поток солнечной радиации, поглощенный 1 м^2 вертикальной поверхностью с учетом ее защиты светопрозрачным ограждением, по выражению:

$$q_s^i = \frac{\tau_g \alpha}{n_i \tau_j^i} 10^6 \cdot Q_s^i, \quad (2)$$

где q_s^i – среднее за дневное время суток значение поглощенного солнечного излучения вертикальной поверхностью площадью 1 м^2 , Вт/м²; τ_g – коэффициент пропускания света защитным остеклением, при отсутствии данных может быть принято равным 0,9; α – коэффициент поглощения, для окрашенной поверхности в черный цвет составляет 0,9; n_i – количество суток в i -ом месяце; τ_j^i – продолжительность светового времени в сутках, равная $\tau_j^i = 60(60\tau_q + \tau_m) + \tau_c$ и принимаемая в соответствии с астрономическими данными, с.

Рассчитав поток, поглощаемый 1 м^2 вертикальной поверхности необходимо рассмотреть возможность эффективной передачи теплоты с модифицированной панели. В

этом случае скорость теплоносителя в вертикальных каналах не будет превышать 0,5...0,75 м/с [18].

Температуру воды на выходе из каждого вертикального канала вычисляем по зависимости, полученной при решении дифференциального уравнения теплового баланса с учетом поглощенной солнечной радиации:

$$T = T_0 + \frac{q_s^i}{K_T} \left(1 - e^{-\frac{bK_T}{G_1 C_P} h} \right), \quad (3)$$

где T_0 – температура окружающей среды, принимаемая равной среднемесячной температуре наружного воздуха, °С; T_B – температура воды, поступающей в вертикальный канал, равная температуре в соответствии с допустимыми нормами 15 °С; C_P – удельная теплоемкость циркулирующей среды, 4187 Дж/(кг·°С); b – характерная ширина единичного участка панели, включающая одну вертикальную трубу из проектируемого массива, м; h – высота вертикального трубопровода в коллекторе, м; q_s^i – солнечная радиация, поглощенная облучаемой поверхностью, рассчитанная по выражению (2), Вт/м²; K_T – коэффициент теплопередачи, определяющий величину потерь энергии в окружающую среду, как правило, для тепловых солнечных коллекторов не превышает 5 Вт/(м²·°С). G_1 – массовый расход воды в канале, определенный при значениях рекомендуемой скорости, кг/с.

Расчет по уравнению (3) конечной температуры воды позволяет определить теплопроизводительность от одной вертикальной трубы, Вт, в соответствии с выражением [14]:

$$Q_1 = G_1 \cdot C_P \cdot (T - T_B), \quad (4)$$

Расчет по формуле (4) тепла, поступающего от одной вертикальной трубы в геосистему, позволяют определить общий тепловой поток от интегрированного солнечного коллектора. Чем длиннее энергоактивная часть в модифицированной сэндвич-панели, тем больше вертикальных каналов она содержит, способствуя утилизации более значительного потока солнечной радиации. Вычисления по выражениям (1)...(4), с учетом методики [14], были выполнены в среде Pascal в разработанной для этого программе. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчетов по выражениям (1)...(4) для 1 элемента трубы

№	Месяцы	Q_s^i	n	τ_j^i	q_s^i	T_0	T	Q_1
1	Март	660,69	31	42900	402,41	-1	27,8	268,75
2	Апрель	525,71	30	50100	283,31	8,4	24,9	208,65
3	Май	293,47	31	56400	135,96	15,2	20,4	114,16
4	Июнь	484,84	30	59700	219,27	18,9	24,5	199,03
5	Июль	535,96	31	58020	241,37	20,6	25,7	224,54
6	Август	582,29	31	52380	290,47	19,5	27,4	260,88
7	Сентябрь	534,81	30	45420	317,92	13,4	27,3	258,34
8	Октябрь	626,992	31	38280	427,97	6,8	30,4	322,57

В результате был подобран оптимальный диаметр труб условного прохода, который составил $D_y=32$ мм и определена теплопроизводительность одной панели размерами 6х6 м в разные месяцы года с учетом южной ориентации. Количество труб, располагающихся в одной панели, было принято равным 50 шт., межосевое расстояние между трубами было принято 100 мм. Результаты определения теплопроизводительности представлены в графическом виде на рис. 5.

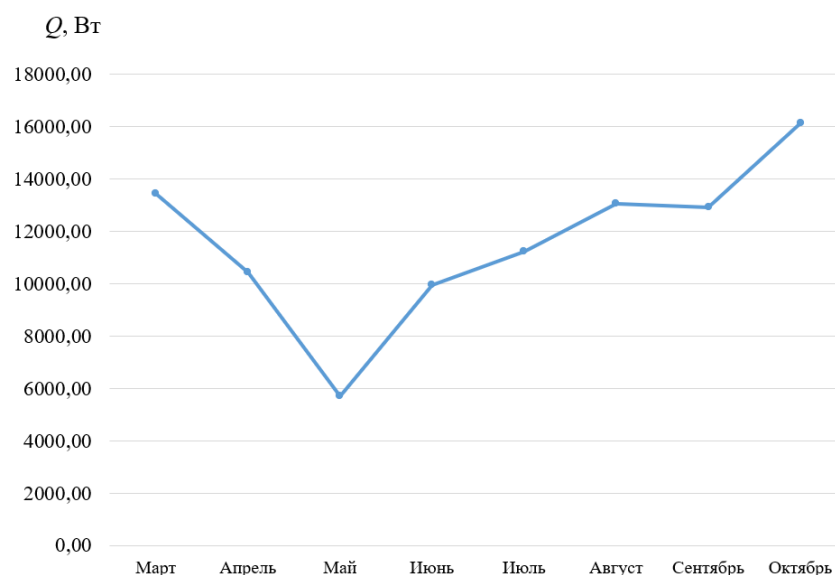


Рис. 5. Расчетная теплопроизводительность одного интегрированного стенового коллектора размером 6×6 м, ориентированного на юг

На южном фасаде рассматриваемого объекта можно разместить до 15 таких панелей, с теплопроизводительностью в пределах 240 кВт. При выполнении западного фасада по такой же схеме включения интегрированных панелей, произведя расчеты по представленной методике, получаем теплопроизводительность панелей 156 кВт. С учетом коэффициента преобразования абсорбционного чиллера [16] такой массив коллекторов позволит вырабатывать до 265 кВт холода. При проектной холодильной нагрузке биофабрики 1115 кВт, АБХМ на теплоте коллекторов сможет покрывать 15...20 % требуемой нагрузки системы, что можно использовать в качестве резервного источника холода при пиковых теплопритоках.

В переходные периоды года источником холода выступают теплообменники фрикулинга. В этом случае, теплоту от коллекторов можно направлять на компенсацию нагрузки системы теплоснабжения. В этом случае при проектной нагрузке в 1210 кВт, полезная теплота от коллекторов составит 25...33 % требуемой нагрузки.

Следует отметить, что открытым остается вопрос соотношения капитальных и эксплуатационных затрат таких предложений. Экономическая эффективность требует более детального рассмотрения и выходит за рамки представленной работы.

Заключение.

Предложено схемное решение солнечных коллекторов, интегрированных в наружные ограждения. Техническое решение энергоактивных наружных ограждений применимо для зданий производственного назначения с чистыми помещениями, не требующими наличия светопрозрачных конструкций в связи с особенностями функционального назначения.

Проведенные расчеты показали, что использование предлагаемой конструкции солнечных коллекторов позволит получить низкопотенциальное тепло, которое может быть использовано для частичной компенсации нагрузки систем тепло- и холодоснабжения. При использовании в теплоснабжении можно снизить расход ресурсов в пределах 25...32 %, при использовании в системах холодоснабжения – в пределах 15...20 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Узденова, М. А. Анализ отрасли животноводства в России / М. А. Узденова // Вестник науки. – 2024. – Т. 3, № 12(81). – С. 446-452.

2. **Фисинин, В. И.** Мировое и отечественное птицеводство: реалии и вызовы будущего / В. И. Фисинин // Животноводство России. – 2025. – № 1. – С. 6-13.
3. **Комарова, К. А.** Современное состояние агробιολογической промышленности в Российской Федерации / К. А. Комарова // Вестник государственного и муниципального управления. – 2014. – № 4(15). – С. 79-84.
4. **Самуйленко, А. Я.** Основы биотехнологии производства биологических препаратов. Том 1: Теоретические основы, оборудование, технологические линии. / А. Я. Самуйленко, Е. А. Рубан – М., 2000. – 375 с.
5. **Белкин, А. П.** Время автономной тригенерации / А. П. Белкин // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 6. – С. 7-14.
6. **Картавец, С. В.** Современные проблемы промышленной теплоэнергетики / С. В. Картавец // Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2017. – 59 с.
7. **Чуков, Ю. В.** Модернизация системы теплоснабжения промышленных предприятий / Ю. В. Чуков // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2024. – Т. 9, № 5(43). – С. 115-125.
8. **Уайт, В.** Технология чистых помещений. Основы проектирования, испытаний и эксплуатации / В. Уайт ; пер. с англ. под общ. ред. Калечиц В. И. – М.: изд. «Клинрум», 2002. – 304 с.
9. **Чистые помещения** / А.Е. Федотов [и др.] ; под ред. А.Е. Федотова. – М.: АСИНКОМ, 2003 г. – 576 с.
10. **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.
11. **Kurasov, I. S.** Concerning the issue of resource assessment for solar energy utilization systems in the climatic conditions of the Russian Federation / I. S. Kurasov, T. V. Shchukina, D. M. Chudinov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Smolensk, 25 January 2021. – Smolensk, 2021. – P. 052021. – DOI 10.1088/1755-1315/723/5/052021.
12. **Зубарев, К. П.** Современные исследования стены Tromba-Mischela в концепции пассивного дома / К. П. Зубарев, Ю. С. Зобнина // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2022. – № 6 (1054). – С. 58-60.
13. **Зубарев, К. П.** Анализ особенностей исполнения стены Tromba-Mischela / К. П. Зубарев, Ю. С. Зобнина // Перспективы науки. – 2022. – № 8 (155). – С. 94-98.
14. **Shchukina, T.V.** Constructive Solutions of Energy-Active External Fences with an Estimated Justification of Heat Gain from Solar Radiation into the Premises. / T. V. Shchukina, I. S. Kurasov, N. G. Nikolskaya ; In: A. A. Radionov, D. V. Ulrikh, V. R. Gasiyarov (et al.) // Proceedings of the 8th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2024): Lecture Notes in Civil Engineering. – Springer: Cham, 2024. – vol. 565, pp. 147-156. – https://doi.org/10.1007/978-3-031-80482-3_15.
15. **Shchukina, T. V.** Improving the energy efficiency of buildings based on the use of integrated solar wall panels / T. V. Shchukina, I. S. Kurasov, D. A. Drapalyuk, P. Popov // E3S Web of Conferences : 22, Voronezh, 08–10 December 2020. – Voronezh, 2021. – P. 05009. – DOI 10.1051/e3sconf/202124405009.
16. **Kurasov, I. S.** Concerning the issue of alternative cold supply for building climate control systems / I. S. Kurasov, T. V. Shchukina, A. A. H. Al. Saedi // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference Safety Problems of Civil Engi-

neering Critical Infrastructures, Ekaterinburg, 21–22 May 2019. Ural Federal University. – Ekaterinburg: IOP, 2020. – Vol. 972. – P. 032006. – DOI 10.1088/1757-899X/962/3/032006.

17. **Shchukina, T. V.** Impact of the Coolant Flow Velocity on the Thermal Condition of Flat-Plate Solar Collectors / T. V. Shchukina, A. S. Efanova, I. S. Kurasov ; in: A. A. Radionov, D. V. Ulrikh, S. S. Timofeeva, V. N. Alekhin (et al.) // Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2022): Lecture Notes in Civil Engineering. – Springer: Cham, 2022. - Vol. 308. - DOI: 10.1007/978-3-031-21120-1_10.

18. **Даффи Дж.** Основы солнечной теплоэнергетики. Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство / Дж. Даффи, У. Бекман – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2013. – 888 с.

19. **Никольская Н. Г., Щукина Т. В., Курасов И. С.** Расчет обеспеченности солнечной энергией для города Воронежа. свид. № 2024668446 (Российская Федерация), патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет». – № 20244667134; заявл. 22.07.2024, – опубл. 07.08.2024, Бюл. № 8. – 12 с.

Поступила в редакцию 19 сентября 2025

DEVELOPMENT OF A DESIGN CONCEPT FOR ALTERNATIVE SOLAR ENERGY SUPPLY SYSTEMS FOR INDUSTRIAL BUILDINGS WITH CLEAN ROOMS

I. S. Kurasov, T. V. Shchukina, K. A. Ivankin

Ilya Sergeevich Kurasov, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(951)550-08-40; e-mail: ilya.kurasov@yandex.ru

Tatiana Vasilyevna Shchukina, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(903)859-15-73; e-mail: schukina.niki@yandex.ru

Kirill Alekseevich Ivankin, Postgraduate Student of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(952)958-23-40; e-mail: kirilivankin@yandex.ru

The authors of the article consider the possibility of using solar energy for industrial buildings consisting of clean laboratory rooms with external fences consisting of double walls with an air layer. We give a schematic solution of a vertical solar collector located in the outer wall layer. We consider the design features of energy-efficient external fences with integrated solar collectors, the heat from which can be directed both to the heat supply of the facility and to the generation of cold in absorption machines. We present the results of calculations performed using the example of a bio-factory in the Stavropol Territory in the form of graphs illustrating the estimated heating capacity. We assessed the reduction in the consumption of traditional resources when integrated solar wall collectors were installed on the southern and western facades of the building.

Keywords: solar energy; external fences; integrated solar collector; energy saving.

REFERENCES

1. **Uzdenova M. A.** *Analysis of the livestock industry in Russia*. Bulletin of Science. 2024. Vol. 3. No. 12(81). Pp. 446-452. (in Russian)

2. **Fisinin V. I.** *World and domestic poultry farming: realities and challenges of the future*. Animal husbandry of Russia. 2025. No. 1. Pp. 6-13. (in Russian)

3. **Komarova K. A.** *The current state of the agrobiological industry in the Russian Federation.* Bulletin of State and Municipal Administration. 2014. No. 4(15). Pp. 79-84. (in Russian)
4. **Samuilenko A. Ya., Ruban E. A.** *Fundamentals of biotechnology for the production of biological drugs.* Volume 1: Theoretical foundations, equipment, technological lines. Moscow. 2000. 375 p. (in Russian)
5. **Belkin A. P.** *Time of autonomous trigeneration.* International Technical and Economic Journal. 2018. No. 6. Pp. 7-14. (in Russian)
6. **Kartavtsev S. V.** *Modern problems of industrial thermal power engineering.* Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. 2017. 59 p. (in Russian)
7. **Chukov Yu. V.** *Modernization of the heat supply system of industrial enterprises.* International Journal of Information Technology and Energy Efficiency. 2024. Vol. 9. No. 5(43). Pp. 115-125. (in Russian)
8. **White V.** *Technology of clean rooms. Fundamentals of design, testing and operation.* Moscow, Klinrum. 2002. 304 p. (in Russian)
9. **Fedotov A. E.** *Clean rooms.* Moscow. ASINKOM. 2003. 576 p. (in Russian)
10. **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. Belgorod. Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. 2024. Pp. 157-161. (in Russian)
11. **Kurasov I. S.** *Concerning the issue of resource assessment for solar energy utilization systems in the climatic conditions of the Russian Federation.* IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Smolensk, 25 January 2021. Smolensk. 2021. Pp. 052021. DOI 10.1088/1755-1315/723/5/052021.
12. **Zubarev K. P., Zobnina Y. S.** *Modern researches of the Trombe-Michel wall in the passive house concept.* BST: Bulletin of Construction Equipment. 2022. No. 6 (1054). Pp. 58-60. (in Russian)
13. **Zubarev K. P., Zobnina Y. S.** *The analysis of the execution features of the Trombe-Michel wall.* Science prospects. 2022. No. 8 (155). Pp. 94-98. (in Russian)
14. **Shchukina T. V., Kurasov I. S., Nikolskaya N. G.** *Constructive Solutions of Energy-Active External Fences with an Estimated Justification of Heat Gain from Solar Radiation into the Premises.* Proceedings of the 8th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2024): Lecture Notes in Civil Engineering. Springer: Cham. 2024. vol. 565. Pp. 147-156. https://doi.org/10.1007/978-3-031-80482-3_15.
15. **Shchukina T. V., Kurasov I. S., Drapalyuk D. A., Popov P.** *Improving the energy efficiency of buildings based on the use of integrated solar wall panels.* E3S Web of Conferences: Voronezh, 08–10 December 2020. Voronezh. 2021. Pp. 05009. DOI 10.1051/e3sconf/202124405009.
16. **Kurasov I. S., Shchukina T. V., Saedi A. A. H. Al.** *Concerning the issue of alternative cold supply for building climate control systems.* IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 962 032006. DOI: 10.1088/1757-899X/962/3/032006
17. **Shchukina T. V., Efanova A. S., Kurasov I. S.** *Impact of the Coolant Flow Velocity on the Thermal Condition of Flat-Plate Solar Collectors.* Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2022): Lecture Notes in Civil Engineering. Springer: Cham. 2022. Vol. 308. DOI: 10.1007/978-3-031-21120-1_10.
18. **Duffy J., Beckman W.** *Fundamentals of solar thermal power engineering. Translated from English: Educational reference guide.* Dolgoprudny. Publishing House "Intellect". 2013. 888 p. (in Russian)

19. **Nikolskaya N. G., Shchukina T. V., Kurasov I. S.** *Calculation of solar energy availability for the city of Voronezh*. cert. No. 2024668446 (Russian Federation), patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering". No. 20244667134. application dated 07/22/2024, published on 08/07/2024. Bul. No. 8. 12 p.

Received 19 September 2025

Для цитирования:

Курасов, И. С. Разработка концепции проектирования систем альтернативного солнечного энергоснабжения производственных зданий с чистыми помещениями / И. С. Курасов, Т. В. Щукина, К. А. Иванкин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 3(34). – С. 64-74. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.007.

FOR CITATION:

Kurasov I. S., Shchukina T. V., Ivankin K. A. *Development of a design concept for alternative solar energy supply systems for industrial buildings with clean rooms*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 3(34). Pp. 64-74. DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.007. (in Russian)

УПРАВЛЕНЧЕСКИЙ ПОДХОД К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ РАБОТЫ ВОДОЗАБОРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

И. Ю. Пурусова

Пурусова Ирина Юрьевна, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(910)249-29-85; e-mail: vps_na@list.ru

Как показывает практика управления, водозаборы подземных вод не в полной мере соответствуют требованиям нормативно-технических документов. Распределение потоков воды описывается системой линейных уравнений в составе математической модели управления работой действующих водозаборных сооружений, устанавливающих в каждом узле баланс между притоком и расходом воды для заданных условий эксплуатации. Предложенные уравнения дают возможность: индивидуально учитывать параметры каждого элемента системы: скважина – погружной насос – сборный водовод – резервуар питьевой воды, напрямую зависят от результатов замеров и определяют состояние системы, в соответствии с режимом работы насосов. Результаты построения математической модели позволили определить условия для управленческого подхода к математическому моделированию работы водозаборов подземных вод.

Ключевые слова: водозаборы подземных вод; математическое моделирование; расход воды; напор.

В нашей стране обеспечение качественного безопасного водоснабжения, с защитой от техногенного воздействия – одна из важнейших проблем. Это обусловлено тем, что возрастают требования потребителей к поставщикам питьевой воды. В значительной степени необходимо совершенствование эксплуатации водозаборов подземных вод путём моделирования работы системы [1...2]: водозаборная скважина – насос – сборный водовод – (резервуар питьевой воды) РПВ. Определение расчётных параметров обеспечивает прогноз оптимальной работы водозаборов подземных вод, а полученные результаты могут быть интегрированы в задачу повышения качества их функционирования. Как показывает практика управления – водозаборы не в полной мере соответствуют требованиям нормативно-технических документов, предъявляемым к системам жилищно-коммунального хозяйства.

Проведенный обзор публикаций [1...3], накопленный практический опыт свидетельствует о том, что требуется управленческий подход к математическому моделированию работы водозаборов подземных вод. Дальнейшее развитие и совершенствование методов моделирования работы водозаборов [4...6] необходимо для обеспечения оптимальных параметров на всех участках системы: скважина – насос – сборный водовод – РПВ.

Решение такой научной проблемы имеет важное практическое и социально-экономическое значение для нашей страны, так как одним из показателей эффективной работы водозаборов подземных вод является обеспечение бесперебойной проектной производительности.

На примере действующих водоподъёмных станций подземных вод Воронежской области изучена работа водозаборов с линейным расположением скважин (рис. 1), соединённых сборными водоводом с РПВ при центральном расположении сборного узла.

На работу водозаборных скважин существенное воздействие оказывают такие факторы как: статические и динамические уровни воды в скважинах, а также режимы водопотребления населенного пункта. В скважинах установлены центробежные погружные насо-

сы ЭЦВ отечественного производства ГСМ «Ливгидромаш». Как показали натурные замеры на действующих водозаборах подземных вод одни скважины «тормозят» работу других. Такие последствия приводят к передавливанию, а в некоторых случаях и к блокировке работы скважины, так как сборный водовод гидравлически связан со всеми скважинами и является передающим звеном режимных возмущений одной группы скважин на другие. При этом снижается суммарная производительность водозабора.

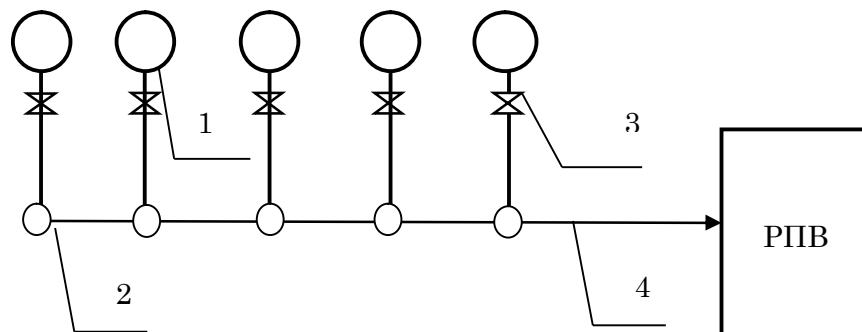


Рис. 1. Водозабор подземных вод с линейным расположением скважин:
1 – водозаборные скважины с погружными насосами; 2 – сборные узлы;
3 – клиновидная задвижка; 4 – сборный водовод

Во избежание таких негативных явлений необходим баланс напоров на отводящих линиях в сборный водовод. Это можно осуществить с помощью дросселирующих устройств или регуляторов давления, но при этом требуется обеспечение работы каждого насоса в оптимальных зонах наибольшего КПД. Для этого необходимо постоянно контролировать подачу и напор насосов, установленных в скважинах и обеспечивать управление дросселирующими устройствами.

Разработанная математическая модель управления работой водозаборов [5], сформирована на связи режима подачи воды насосами в сборный водовод, с повышением производительности системы: скважина – насос – сборный водовод – РПВ.

Для построения расчётных схем по такой математической модели предлагается определение энергетических узлов водозаборов подземных вод, рис. 2.

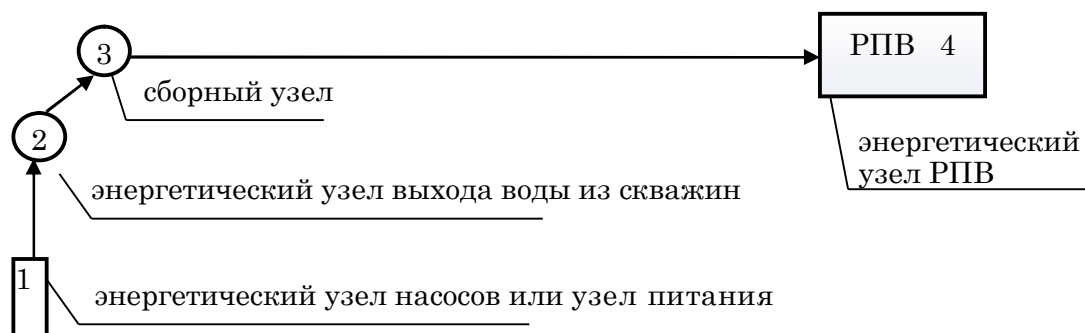


Рис. 2. Классификация энергетических узлов водозаборов подземных вод

В определении энергетических узлов водозаборов подземных вод вводятся следующие понятия:

- ✓ энергетические узлы насосов или узлы питания – это скважины с погружными насосами, в составе водозаборов;
- ✓ энергетические узлы выхода воды из скважин – узел, где направление движения воды переходит из вертикального положения в горизонтальное;
- ✓ сборные узлы – это энергетические узлы подключения к сборному водоводу напорных трубопроводов;
- ✓ энергетический узел РПВ – сборный резервуар.

Математическое моделирование работы водозабора подземных вод построено на основе модели возмущённого состояния [5, 7...8], движения воды в водоводах. Определённые формы (граничных условий) ГУ, заданы начальными характеристиками параметров системы: скважина – насос – сборный водовод – РПВ. ГУ позволяют рассматривать систему как отдельный объект для моделирования, то есть режим работы водозабора отдельно от внешней сети и взаимосвязь с режимом эксплуатации насосной станции второго подъёма исключается. На рис. 3 представлена, по принципу эквивалентирования, схема моделирования управления работой водозабора подземных вод.

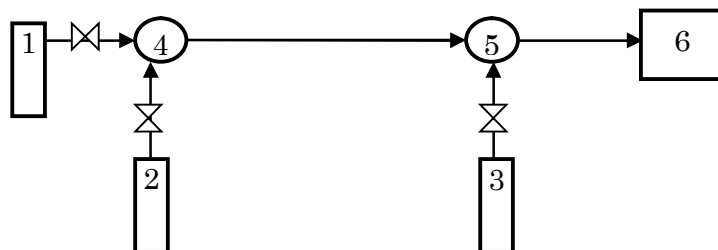


Рис. 3. Моделирование управления работой водозабора подземных вод:
1, 2, 3 – энергетические узлы насосов; 4, 5 – сборные узлы; 6 – РПВ

При математическом моделировании работы водозабора использовались уравнения распределения потоков воды, построенные на правилах Кирхгофа и уравнение Д. Бернулли, для гидравлического описания движения потоков воды в водоводах.

Условия формирования математического моделирования работы водозабора представлены следующие [5, 7]:

- ✓ узловые балансовые уравнения показывают условия неразрывности потока воды: $\sum (q) = 0$;
- ✓ сумма расходов воды, сходящихся в каждом узле цепи, равна нулю, формула (1).

$$\sum_{j \in j_{\mu}} \left(\sum_{j \in I_e} \text{sgn } Q_{ij} + q_j^z \right) = 0, \quad (1)$$

где, j – участки, с номинальным напором; I – количество участков, инцидентных узлу i ; Q_{ij} – расчётный расход на участке j трубопровода; q_j^z – подача воды от узла j ; z – геодезическая отметка – уровень расположения узла, м.

Распределение потоков воды описывается системой линейных уравнений в составе математической модели управления работой действующих водозаборных сооружений, устанавливающих в каждом узле баланс между притоком и расходом воды для заданных условий эксплуатации. Предложенные уравнения дают возможность: индивидуально учитывать параметры каждого элемента системы: скважина – погружной насос – сборный водовод – РЧВ, напрямую зависят от результатов замеров и определяют состояние системы, в соответствии с режимом работы насосов.

Математическая модель управления подачей воды [5, 9] от скважин, представлена узловыми балансовыми линейными уравнениями. ГУ в такой модели определяются начальными замерами параметров системы на действующих водозаборах, с учётом усреднённых значений относительных отклонений от средней величины.

Такая линейная модель позволяет оценить влияние расчётного расхода на потери напора в трубопроводе, обладает хорошей сходимостью, простотой и позволяет прогнозировать изменения в системе: погружной насос – сборный водовод – РПВ.

Ниже приведены узловые балансовые линейные уравнения, для скважины 1, 2 и 3, рис. 3, формулы (2)...(3):

$$Q_{1-4}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{1-4}^{(k)} - Q_{4-5}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{4-5}^{(k)} + Q_{2-4}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{2-4}^{(k)} = 0, \quad (2)$$

$$\delta Q_{4-5}^{(\kappa-1)} \delta \bar{Q}_{4-5}^{(k)} + Q_{3-5}^{(\kappa-1)} \delta \bar{Q}_{3-5}^{(k)} - Q_{5-6}^{(\kappa-1)} \delta \bar{Q}_{5-6}^{(k)} = 0. \quad (3)$$

Сумма расходов воды, рис. 3, направленных от узла, равна сумме расходов воды направленных к узлу на участках цепи $\sum (q_1) = \sum (q_2)$, формула (4):

$$\sum_{j \in J_p} \sum_{j \in J_\gamma} \text{sgn} \Delta H_{ij} = \sum_{j \in J_p} \sum_{j \in J_\gamma} \text{sgn} S_{ij} Q_{ij}^2, \quad (4)$$

где, J – количество участков в составе цепи; ΔH_{ij} – напор погружного насоса в составе цепи j ; sgn – оператор присвоения знака слагаемому: приток к узлу – « + », отток (отбор) от узла – « - » [1-3].

Синтез независимых связей, для скважины 1...3 и с размерностью $e-1$, показан системой нормальных балансовых уравнений:

[illegible]

где, e – число энергетических узлов насосов

На основе проведённых теоретических и экспериментальных исследований предлагается блок-схема алгоритма для расчёта математической модели управления работой водозабора, с минимальным количеством ввода исходной информации, при постоянном изменении данных замеров (рис.4). Отличительной особенностью такого алгоритма является то, что учитываются отклонения реальных параметров расходов воды от расчетных величин системы: скважина – насос – сборный водовод – РЧВ.

Для устойчивой работы математической модели управления водозабором подземных вод необходимы периодические замеры производительности насосов и потребления электроэнергии, так как возможны отклонения реальных гидравлических параметров от расчетных величин. Данные по модели могут, корректироваться в процессе расчёта с учётом фактических характеристик взаимодействующих элементов системы, а исходные данные соответствуют режиму, который установился перед началом процесса управления.

Полученная модель управления определяет режим регулирования на отводящих линиях насосов перед поступлением воды в сборный водовод, что позволяет прогнозировать и оперативно управлять режимом подачи воды в РПВ. Благодаря этому удаётся определить диапазон значений расхода воды, поступающей в РПВ, а также появляется возможность моделирования наиболее экономичного режима эксплуатации погружных насосов в пределах рабочего диапазона.

Условия для управленческого подхода к математическому моделированию работы водозаборов подземных вод, следующие:

- ✓ определяются длины и сопротивление на участках трубопроводов;
- ✓ определяются напорные характеристики трубопроводов и сборного водовода;
- ✓ назначаются номера участков и энергетических узлов, задаётся по схеме направление потока воды от скважин в РЧВ;
- ✓ для гидравлического расчета по участкам и энергетическим узлам и задаётся средний расход воды, определённый замерами;
- ✓ определяется напор в энергетических узлах;
- ✓ определяется процент открытия запорно-регулирующей арматуры.

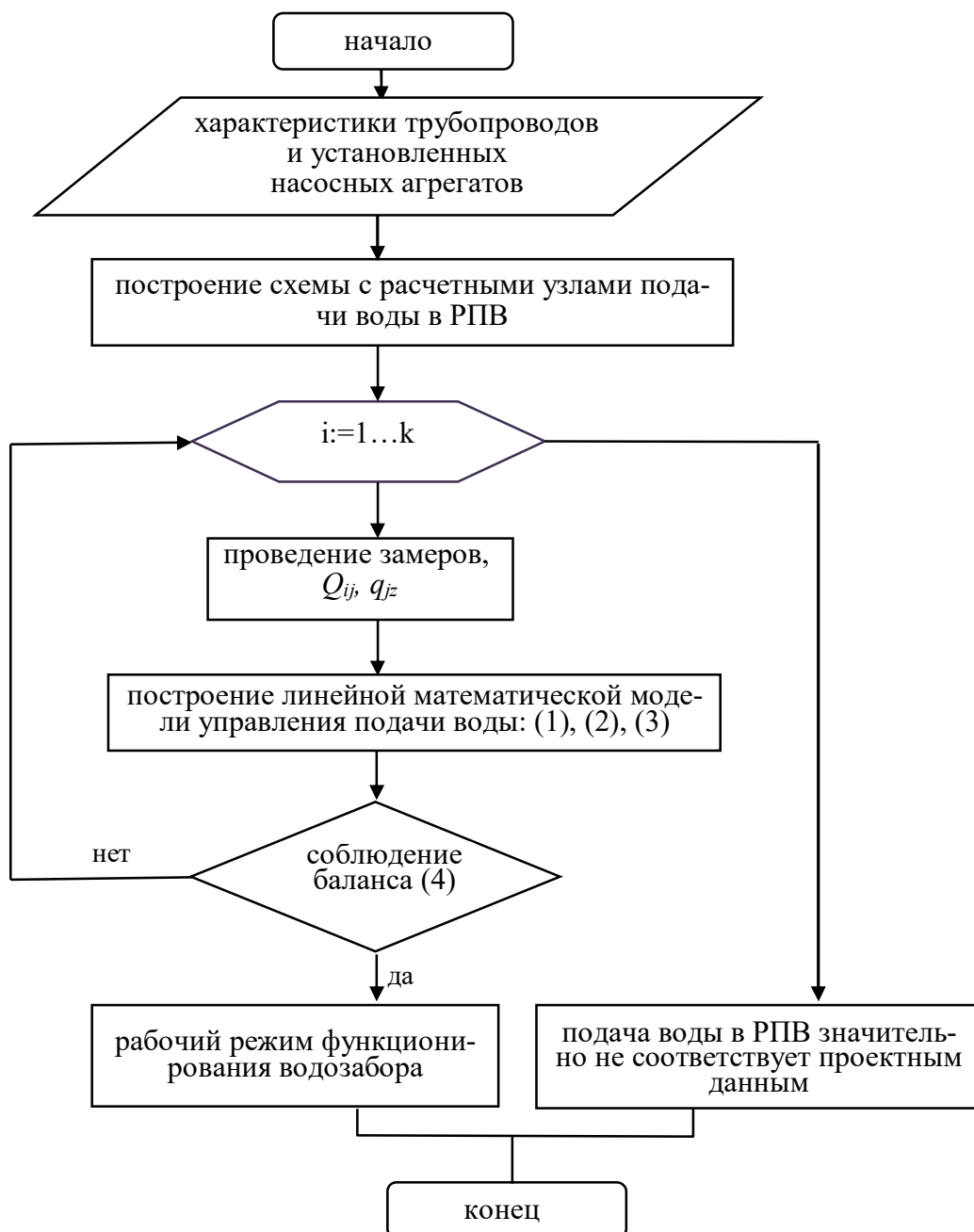


Рис. 4. Алгоритм построения математической модели работы водозабора подземных вод

Математическое моделирование работы водозаборов подземных вод позволяет более точно учитывать параметры установленных в скважинах насосных агрегатов, с разными значениями подачи. Точное определение расчетных параметров обеспечит долгосрочный прогноз подачи воды на водозаборах. Полученные зависимости по представленной схеме позволяют применять модель управления работой водозаборами подземных вод в других регионах нашей страны.

Заключение.

Представлено определение энергетических узлов и введены понятия для математической модели работы водозаборов подземных вод.

Определены условия для управленческого подхода к математическому моделированию работы водозаборов подземных вод для поддержания их производительности с учетом соблюдения соответствия проводимых замеров и расчетных параметров.

Предложенная математическая модель управления работой водозаборов направлена оптимизацию рабочего режима функционирования погружных насосных агрегатов и производительности водозабора в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Капанский, А. А.** Ключевые направления и мировые практики повышения эффективности и надежности водоснабжения / А. А. Капанский // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2024. – № 1(96). – С. 82-98.
2. **Чупин, В. Р.** Современное состояние, перспективы и пути развития систем водоснабжения и водоотведения, методы их расчета, построения и организации эксплуатации / В. Р. Чупин // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2023. – Т. 13, № 2(45). – С. 359-368.
3. **Пурусова, И. Ю.** Эксплуатация действующих насосных станций: учебно-методическое пособие / И. Ю. Пурусова. – Воронеж: ВГТУ, 2023. – 68 с.
4. **Пурусова, И. Ю.** Причины снижения производительности скважинных насосов в системах водного хозяйства / И. Ю. Пурусова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 51-58.
5. **Панов, М. Я.** Разработка математической модели управления функционированием водоподъёмной станции / М. Я. Панов, И. Ю. Пурусова, В. И. Щербаков // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1(1). – С. 176-182.
6. **Щербаков, В. И.** Анализ совместной работы водозаборных сооружений из подземных источников / В. И. Щербаков, И. Ю. Пурусова // В книге: Методология безопасности среды жизнедеятельности Программа и тезисы IV Крымской Международной научно-практической конференции. Под редакцией: А.Т. Дворецкого, Т.В. Денисовой, А.Е. Максименко. – 2017. – С. 85.
7. **Пурусова, И. Ю.** Моделирование управления подачей воды на водозаборах из подземных источников / И. Ю. Пурусова, К. И. Чижик // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2024. – № 5(785). – С. 94-100.
8. **Щербаков, В. И.** Исследование работы системы водозаборная скважина - сборный водовод / В. И. Щербаков, И. Ю. Пурусова // Энергосбережение и водоподготовка. – 2017. – № 2(106). – С. 27-32.
9. **Шестопалов, М. Ю.** Проектирование распределенных систем управления / М. Ю. Шестопалов, И. М. Першин, В. В. Цаплева // Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах. – 2019. – Т. 1. – С. 77-80.

Поступила в редакцию 16 сентября 2025

MANAGEMENT APPROACH TO MATHEMATICAL MODELING OF UNDERGROUND WATER INTAKE

I. Yu. Purusova

Irina Yurievna Purusova, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(910)249-29-85; e-mail: vps_na@list.ru

As the management practice shows, groundwater water intakes do not fully meet the requirements of regulatory and technical documents for housing and communal services systems. The distribution of water flows is described by a system of linear equations as part of a mathematical model for managing the operation of existing water intakes, which establish a balance between water inflow and flow rate at each node for given operating conditions. The proposed equations allow for individual consideration of the parameters of each system ele-

ment: water intake well – submersible pump – prefabricated water pipeline – drinking water reservoir, which are directly dependent on the measurement results and determine the system's state based on the pump operation mode. The results of constructing a mathematical model allowed me to determine the conditions for a managerial approach to mathematical modeling of groundwater intake.

Keywords: groundwater intakes; mathematical modeling; water consumption; pressure.

REFERENCES

1. **Kapansky A. A.** *Key Directions and Global Practices for Improving the Efficiency and Reliability of Water Supply*. Bulletin of the Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi. 2024. No. 1(96). Pp. 82-98. (in Russian)
2. **Chupin V. R.** *Current State, Prospects, and Development Paths of Water Supply and Sewerage Systems, Methods for Their Calculation, Construction, and Operation*. bulletin of the Higher education establishments. Investments. Construction. Real Estate. 2023. Vol. 13. No. 2(45). Pp. 359-368. (in Russian)
3. **Purusova I. Yu.** *Operation of Existing Pump Stations*. Educational and Methodological Guide. Electronic resource. Voronezh. 2023. 68 p. (in Russian)
4. **Purusova I. Yu.** *Reasons for the decrease in the performance of submersible pumps in water management systems*. Housing and communal infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 51-58. (in Russian)
5. **Panov M. Ya., Purusova I. Yu., Shcherbakov V. I.** *Development of a Mathematical Model for Controlling the Functioning of a Water Lift*. Scientific Journal. Engineering Systems and Structures. 2009. No. 1(1). Pp. 176-182. (in Russian)
6. **Shcherbakov V. I., Purusova I. Yu.** *Analysis of the Co-Operation of Water Intake Structures from Underground Sources*. In the book: Methodology of Life Safety Environment Safety Program and Abstracts of the IV Crimean International Scientific and Practical Conference. 2017. Pp. 85. (in Russian)
7. **Purusova I. Yu., Chizhik K. I.** *Modeling of Water Supply Control at Water Intakes from Underground Sources*. Izvestiya of Higher Educational Institutions. Construction. 2024. No. 5(785). Pp. 94-100. (in Russian)
8. **Shcherbakov V. I., Purusova I. Yu.** *Research of the operation of the system water intake well - collecting water conduit*. Energy Saving and Water Treatment. 2017. No. 2(106). Pp. 27-32. (in Russian)
9. **Shestopalov M. Yu., Pershin I. M., Tsapleva V. V.** *Design of Distributed Control Systems* International Scientific Conference on Control Problems in Technical Systems. 2019. Vol. 1. Pp. 77-80. (in Russian)

Received 16 September, 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Пурусова, И. Ю. Управленческий подход к математическому моделированию работы водозаборов подземных вод / И. Ю. Пурусова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 3(34). – С. 75-81. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.008.

FOR CITATION:

Purusova I. Yu. *Management approach to mathematical modeling of underground water intake*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 3(34). Pp. 75-81. DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.008. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.009

УДК 625.65.01

АНАЛИЗ ПРИЧИН ОТКАЗА РАБОТЫ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ОТКРЫТОМ ВОДООТЛИВЕ С УЧЕТОМ ЕГО ОБВЯЗКИ ТРУБОПРОВОДАМИ

В. В. Помогаева, С. В. Григорьев

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

Григорьев Сергей Васильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел. +7(473)207-22-20; e-mail: gsv-3@mail.ru

На примере открытого водоотлива угольного обводнённого карьера рассмотрена проблема быстрого выхода из строя насосного оборудования. В качестве предполагаемой причины рассмотрена гипотеза некорректного подбора насоса и трубопроводов его обвязки. Описан принцип работы системы «насос-трубопровод». Представлен анализ и расчет основных характеристик насосного оборудования. Проанализированы принятые решения по обвязке насоса. Проведен проверочный гидравлический расчет. Показано, что проведенные расчеты для подбора насосов не учитывают все гидравлические закономерности. Приведено расчетное обоснование по изменению диаметров трубопроводов, которое будет способствовать улучшению режима работы насосов при открытом водоотливе. Сформулированы предложения по корректному выбору проектных параметров насосного оборудования, которые помогут исключить отказы в работе и предотвратить преждевременный выход из строя.

Ключевые слова: насосное оборудование; обвязка насосов; гидравлический расчет; дренажные воды; открытый водоотлив

Проектирование станций откачки дренажных вод требуют системного подхода к определению конструкций применяемого оборудования. Существуют разные виды осушения, отличающиеся схемой размещения оборудования, оценкой притоков воды [1, 2]. Например, отведение дренажных вод из карьеров является серьезной проблемой, влияющей не только на общую стоимость работ в горнодобывающей промышленности, но и на экологические аспекты. Объем откачиваемой воды в 2...3 раза больше, чем объем добываемого угля. Проектирование и подбор оборудования для удаления дренажных вод в условиях импортозамещения является актуальной проблемой.

В работе рассматривается одноступенчатая система открытого водоотлива угольного карьера. Водосборник с насосной станцией расположен в обводненном карьере. Производительность насосной станции должна обеспечивать откачку максимального суточного притока воды за 20 часов, дополнительно предусматриваются резервные насосы. В районах, где притоки ливневых вод могут в несколько раз превышать нормальные, насосы водоотливов выполняют плавучими. При открытом водоотливе на обводнённых карьерах применяют в основном высокопроизводительные низконапорные насосы. Напорные трубопроводы прокладываются на нерабочих бортах карьеров. В зимнее время водоотливные установки, нагнетательные трубопроводы, а также водоотводные каналы защищаются от промерзания [СП 103.130.2012].

Объектом исследования является отказ в работе одноступенчатой системы открытого водоотлива угольного карьера, состоящей из электронасосного агрегата АХН 400/80.2 и системы трубопроводов [3]. В эксплуатацию насос (№1) введен 14 декабря, отказ работы

обнаружен 5 января, через 24 дня от начала работы. После замены агрегата, насос (№2) был введен в работу 16 февраля, отказ в работе 26 февраля (через 10 дней работы). Оба насоса вышли из строя за короткое время. Необходимо установить причины отказа в работе насосов. Было предположено, что одной из причин может являться неправильный подбор насосного оборудования.

Проверка гипотезы: насос подобран некорректно, не соблюдается гидравлика работы насоса и трубопроводов.

Для решения возникшей проблемы и установления причин поломки была рассмотрена следующая гипотеза: насос подобран некорректно и, соответственно, неправильно эксплуатируется. При эксплуатации в реализованной трубопроводной обвязке насос работает не в номинальном режиме, вне рекомендуемого рабочего диапазона изменения расхода (подачи). Гидравлические характеристики непосредственно влияют на работу и величину энергопотребления насосного оборудования [4...6]. Рекомендовано установить нормативные требования на шероховатость внутренней поверхности водопроводных труб из полимерных материалов и производить их гидравлический расчет с учетом фактических значений величин высотного и шагового параметров шероховатости.

При исследовании для рассмотрения предоставлены не все данные об установке. Недостающие сведения были получены аналитическим путем из опыта проектирования и эксплуатации подобного оборудования.

Рассматриваемая насосная установка расположена на понтоне (рис. 1) [1] в обводненном карьере (поз. 12, рис. 1). Насосный агрегат АХН 400/80.2, электродвигатель и запорно-регулирующая арматура (поз. 2, 3, 4, 10, 11, рис.1), жестко закреплены на понтоне, что соответствует требованиям монтажа. Насос установлен под залив (поз. 10, рис. 1).

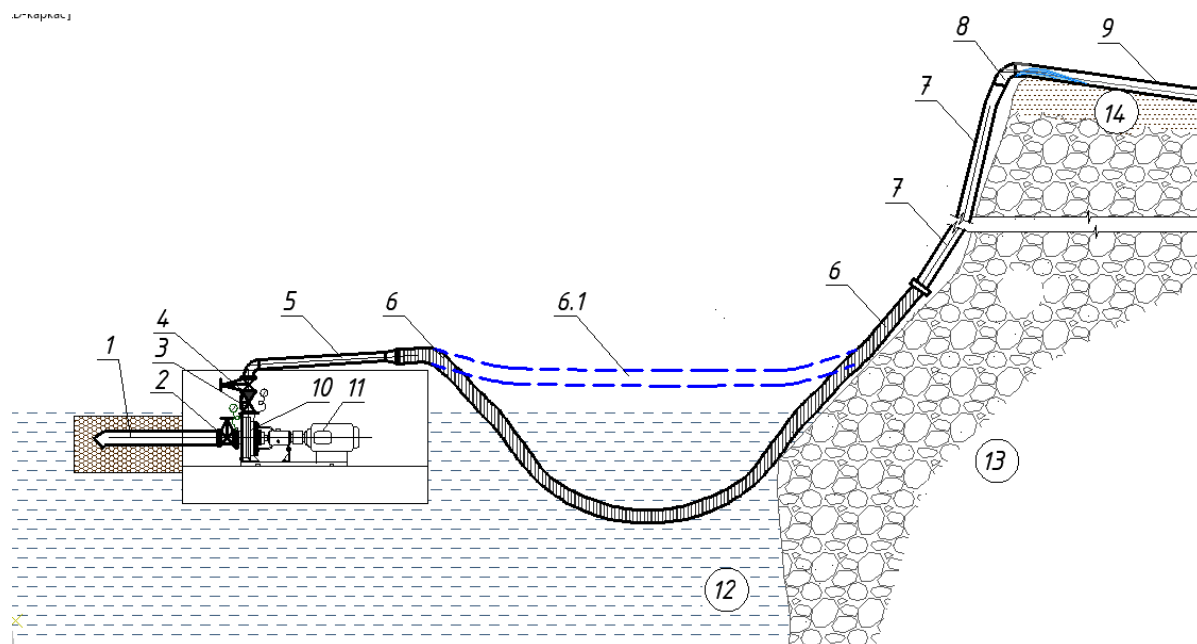


Рис. 1. Схема станции водоотлива:

- 1 – всасывающий трубопровод с защитной сеткой; 2 – задвижка (затвор) Ø200мм;
- 3 – обратный клапан Ø150мм; 4- задвижка (затвор) Ø150мм; 5, 6, 7, 9– напорный трубопровод;
- 8 – колено; 10 -насос, 11 – электродвигатель; 12 - водосборник (обводненный карьер);
- 13 – борт карьера или отвал отработанной породы; 14 – спланированная территория

Через всасывающий стальной трубопровод (поз. 1 рис. 1) осуществляется забор перекачиваемой жидкости с небольшой глубины (менее 1 м от поверхности воды), размер ячеек защитной сетки более 3см, что не соответствует требованиям эксплуатации и не позволяет предотвращать попадания крупных включений в корпус насоса. В зимний и весенний период возможно попадание шуги в корпус насоса. Всасывающий патрубок обо-

рудован задвижкой Ø200мм. Так как в схеме отсутствует конфузор, то диаметр всасывающего трубопровода (предположительно) около 200мм. Манометр для измерения давления отсутствует.

Напорный трубопровод длиной $L=540$ м, геометрическая высота подъема $H=41$ м. Напорный патрубок оборудован обратным клапаном и задвижкой Ø150мм. Отсутствует расходомер, позволяющий фиксировать подачу воды. Установлен манометр для фиксации напора.

В напорном трубопроводе можно выделить четыре части:

1 – «понтонная», расположенная на понтоне (поз. 5, рис. 1) выполненная из металлической трубы Ø150 мм. После насоса одна часть напорного трубопровода располагается вертикально, а вторая часть переходит под углом 90° в горизонтальный участок. При этом выход горизонтального участка располагается на высоте 0,5...1,0 м над наружной поверхностью понтона.

2 – «карьерная», расположенная на поверхности карьера и выполненная из металлических труб (поз. 7, рис. 1), предположительно Ø200мм;

3 – «промежуточная», соединяющая карьерную и понтонную части напорного трубопровода и выполненная из гибкого армированного рукава (поз. 6, рис. 1) предположительно Ø200 мм. Имеется перепад высот между выходом «понтонной» части и входом в «карьерную» часть напорного трубопровода. Фактически образуется гидравлический затвор, имеющий значительное (до 2 м) занижение после понтона, с постоянным наличием воды в нем.

4 – «горизонтальная», транспортирующая воду для дальнейшего использования (поз. 9, рис. 1), предположительно Ø200 мм. Трубопровод проложен по спланированной поверхности с уклоном в сторону приемника дренажной воды. Несмотря на нормативные требования, утепление трубопровода отсутствует.

Так же отсутствуют сливные краны для опорожнения напорного трубопровода в его перегибах и низких отметках. При эксплуатации в период отрицательных температур и периодическом отключении насоса, оставшаяся в трубопроводе вода кристаллизуется и образует «ледяные пробки».

Откачивание дренажной воды предусмотрено горизонтальным центробежным химическим насосом АХН 400/80.2 315/6000/2900, установленным на понтоне. Основные характеристики насоса:

- ✓ подача $400 \text{ м}^3/\text{час}$;
- ✓ напор - 80 м;
- ✓ мощность электродвигателя $N=160 \text{ кВт}$;
- ✓ частота вращения $n=1450 \text{ об/мин}$;
- ✓ напряжение 380 В;
- ✓ диапазон расхода жидкости $6,3\text{--}400 \text{ м}^3/\text{час}$ (по каталогу);
- ✓ напор 5-80м.

Всасывающий патрубок Ø200 мм и напорный патрубок Ø150 мм. Рабочая температура от -40°C до $+150^\circ\text{C}$. Область применения насоса: агрессивные жидкости с твердыми включениями размером до 2-х мм и объемной концентрацией до 1,5 % при высокой абразивности и до 10 % при средней абразивности. Плотность перекачиваемой жидкости до 1830 кг/м^3 . В зависимости от плотности перекачиваемой жидкости мощность двигателя стандартного насоса АХН Q/H.2 составляет при $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$ $N=250 \text{ кВт}$, при $\rho=1350 \text{ кг/м}^3$ $N=315 \text{ кВт}$, при $\rho=1830 \text{ кг/м}^3$ мощность не указана.

Для проверки правильности подбора насосного оборудования был запрошен результат расчетов, обосновывающих проектные решения.

Проверка расчетов показала, что были приняты следующие данные: длина напорного трубопровода 540 м, разность высотных отметок составляет 41 м. Коэффициенты шероховатости приняты для неновых стальных или неновых чугунных труб, без внутреннего

защитного покрытия или с битумным защитным покрытием $m=0,3$, эквивалентная шероховатость внутренней поверхности труб $\Delta=0,2$ мм, сумма коэффициентов местных сопротивлений $\sum \xi=5$ м. Температура жидкости принята 55 °С, кинематическая вязкость $\nu=0,0286$ см²/с, средняя плотность жидкости $\rho=1000$ кг/м³.

Расчет выполнен при подаче жидкости 400 м³/час, 200 м³/час и 150 м³/час в трубопроводы внутренним диаметром 220, 215 и 150 мм. Результаты расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

Гидравлический расчет участков трубопровода

Определяемые величины	Обозначение, ед.изм.	Расчетный расход жидкости, м ³ /час				
		400	400	400	200	150
Диаметр	Ø, мм	220	215	150	150	150
Скорость движения жидкости	V , м/с	2,923	3,06	6,28	3,144	2,358
Число Рейнольдса	Re	224 842,8	230 071,7	329 769,4	164 884,7	123 663,5
Коэффициент гидравлического трения	λ	0,021	0,021	0,022	0,022	0,023
Удельные потери давления на трение	R , Па/м	398,3	448,2	2870,4	740,5	424,5
Потери давления на трение	$dP_{тр}$, Па	215 184,7	242 104,9	1 550 540,0	400 009,6	229309,9
Потери давления в местных сопротивлениях	$dP_{м.с.}$	21 359,2	23 416,5	98 834,9	24 708,7	13 898,7
Потери давления в трубопроводе	dP , Па	236 543,8	265 521,4	1 649 374,9	424 718,3	243 208,5
Характеристика гидравлического сопротивления трубопровода	S , Па/(м ³ /ч) ²	1,478	1,66	10,309	10,618	10,809
Коэффициент гидравлического сопротивления	i , м.вод.ст./м	0,065	0,074	0,498	0,125	0,070
Потери давления в трубопроводе на трение с учетом стыков	dP , Па	346 690,2	391 613,7	2 639 356,7	659 839,2	371 159,5

В результате анализа представленных расчетов (табл. 1) можно сделать вывод, что определенные характеристики составляют:

- ✓ $Q=400$ м³/час, Ø 220 мм, $\nu=2,92$ м/с, общие расчетные потери напора $P=10,95$ м;
- ✓ $Q=400$ м³/час, Ø 215 мм, $\nu=3,06$ м/с, общие расчетные потери напора $P=11,70$ м;
- ✓ $Q=400$ м³/час, Ø 150 мм, $\nu=6,28$ м/с, общие расчетные потери напора $P=48,70$ м;
- ✓ $Q=200$ м³/час, Ø 150 мм, $\nu=3,14$ м/с, общие расчетные потери напора $P=16,06$ м;
- ✓ $Q=150$ м³/час, Ø 150 мм, $\nu=2,35$ м/с, общие расчетные потери напора $P=11,26$ м.

Моделирование движения жидкости по трубе показывает, что расчетные скорости превышают допустимые значения для стальных труб (3,0 м/с) при диаметре трубопровода 150 мм и подаче 400 м³/час. При этом непонятно, как будет достигаться подача насосом 200 и 150 м³/час, при его производительности 400 м³/час. Несмотря на заявленный производителем диапазон расходов жидкости от 6,3 до 400 м³/час, оптимальным расходом считается максимальный около 400 м³/час с наибольшим КПД.

Таким образом, предварительные расчеты выполнены в том числе и на меньший расход, следовательно, при работе принятого насоса создаются проблемы, такие как увеличение гидравлических потерь, возникновение кавитации, возникновение вибраций и шума (до 60 дБ). Возникновение кавитации и вибраций может привести к отказу в работе.

Для обоснования принятых характеристик выполнена проверка гидравлического расчета труб [7...11]. Для этого рассмотрены варианты существующих стальных труб (табл. 2), которые могут быть применены для работы поверхностного водоотлива.

Таблица 2

Характеристика стальных труб

Тип трубы	Диаметр внутренний	Толщина стенки
горячедеформированные	203, 219	4...15
	245, 273, 299, 325, 351, 377, 402, 406, 426, 450	4...25
холоднодеформированные	200, 210, 220, 240, 250	18...24
электросварные	219, 273, 325, 377	3...12
	426	4...50

Было принято решение выполнить расчет для расходов, находящихся в диапазоне от 100 до 400 м³/час. Определение скорости и расчетного диаметра выполнялось с учетом нормативной литературы по формулам:

$$d_{расч} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_{рек}}}, \quad (1)$$

$$V_{расч} = \frac{4Q}{\pi d_{прин}^2}. \quad (2)$$

Результаты расчета по определению диаметров и скорости показаны в табл. 3.

Таблица 3

Определение диаметров и скорости во всасывающем и напорном трубопроводе

Расход Q _{расч} , м ³ /с	Всасывающий трубопровод				Напорный трубопровод			
	скорость рекомендуемая,	диаметр расчетный	диаметр принятый	скорость расчетная	скорость рекомендуемая,	диаметр расчетный	диаметр принятый	скорость расчетная
	V _{всас} , м/с	d _{расч} , мм	d _{прин} , мм	V _{всас} , м/с	V _{нап} , м/с	d _{расч} , мм	d _{прин} , мм	V _{нап} , м/с
100	0,80	210,3	219	0,738	1,00	188,1	200	0,885
	1,00	188,1	219	0,738	2,00	133,0	150	1,573
	1,50	153,6	219	0,738	3,00	108,6	150	1,573
200	0,80	297,4	273	0,950	1,00	266,0	273	0,950
	1,00	266,0	273	0,950	2,00	188,1	200	1,769
	1,50	217,2	219	1,476	3,00	153,6	150	3,145
300	0,80	364,3	377	0,747	1,00	325,8	325	1,005
	1,00	325,8	325	1,005	2,00	230,4	219	2,213
	1,50	266,0	273	1,424	3,00	188,1	200	2,654
400	0,80	420,6	377	0,996	1,00	376,2	377	0,996
	1,00	376,2	377	0,996	2,00	266,0	273	1,899
	1,50	307,2	377	0,996	3,00	217,2	219	2,951

При расчете скорости во всасывающем трубопроводе принимались от 0,8 до 1,5 м/с, в напорном от 1,0 до 3,0 м/с. Определено, что при большой разнице расходов (100, 200, 300, 400 м³/с) жидкости, определенные при расчете диаметры отличаются, и невозможно установить оптимальный (табл. 3). Был выполнен расчет для диаметров наиболее подхо-

дящих для среднего расхода. Проведена проверка на пропуск максимально расхода. Результат расчета представлен в табл. 4.

Таблица 4

Результаты проверки принятых диаметров на пропуск расчетных расходов

Q _{расч} , м ³ /с	Диаметр всасывающего трубопровода							Диаметр напорного трубопровода				
	219	273	299	325	351	377	402	150	219	245	299	351
	V _{всас} , м/с							V _{нап} , м/с				
100	0,738	0,475	0,396	0,335	0,287	0,249	0,219	1,573	0,738	0,59	0,396	0,287
200	1,476	0,95	0,792	0,67	0,574	0,498	0,438	3,145	1,476	1,179	0,792	0,574
300	2,213	1,424	1,187	1,005	0,862	0,747	0,657	4,718	2,213	1,769	1,187	0,862
400	2,951	1,899	1,583	1,34	1,149	0,996	0,876	6,291	2,951	2,358	1,583	1,149

В табл. 4 выделены скорости соответствующие рекомендованным для движения жидкости. Анализируя полученные данные, определяем, что оптимальным является диаметр всасывающего трубопровода 299 мм, напорного 219 мм.

Потери напора складываются из линейных и местных. Линейные потери напора определялись по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_l = \lambda_i \cdot \frac{l}{d_n} \cdot \frac{V_i^2}{2g}, \quad (3)$$

где λ – коэффициент сопротивление по длине; l – длина трубопровода, м; d – диаметр трубопровода, м; V_i – скорость движения жидкости.

Местные потери напора определялись по формуле:

$$h_i = \xi_i \cdot \frac{V_i^2}{2g}, \quad (4)$$

где ξ_i – коэффициент сопротивления при входе (выходе) жидкости в трубу; V_i – скорость жидкости во всасывающем/напорном патрубке.

При диаметре всасывающего трубопровода 299 мм, потери напора во всасывающем трубопроводе с учетом потерь напора на входе, повороте и задвижке составляют $h_{всас}=0,05$ м.

В напорном трубопроводе при диаметре 219 мм с учетом потерь напора в колене, задвижке, обратном клапане, диффузоре $h_{нап}=0,47$ м.

При максимальном расходе $h_{всас}=0,08$ м, $h_{нап}=1,3$ м.

Были определены потери напора по длине при разных расходах:

✓ $h_l = 11,97$ м (при $Q_{расч}=200$ м³/ч);

✓ $h_l = 27,30$ м (при $Q_{расч}=300$ м³/ч);

✓ $h_l = 15,62$ м (при $Q_{расч}=400$ м³/ч).

Общий требуемый напор составит:

✓ $H_{тр}=53,52$ м (при $Q_{расч} = 200$ м³/ч);

✓ $H_{тр}=68,85$ м (при $Q_{расч} = 300$ м³/ч);

✓ $H_{тр}=85,20$ м (при $Q_{расч/мах} = 374,4$ м³/ч).

В результате анализа гидравлического расчета трубопроводов были выявлены ошибки при определении диаметров трубопроводов, которые привели к некорректной работе системы насос-трубопровод:

✓ для забора воды расходом 400 м³/час всасывающий трубопровод должен быть Ø400мм ($v=0,83$ л/с) или Ø350 мм ($v=1,07$ л/с), принят Ø200 мм ($v \approx 3,07$ л/с);

✓ для пропуска расхода 400 м³/час напорный трубопровод должен быть Ø350 мм ($v=1,07$ л/с) или Ø300 мм ($v=1,46$ л/с), принят Ø150 мм ($v \approx 6,28$ л/с) и Ø200 мм

($v \approx 3,07$ л/с).

Принятые диаметры трубопроводов не могут пропустить объем жидкости подаваемый насосом, поэтому задвижка была частично «прикрыта». Такой режим работы насоса привел к возникновению кавитации и разрушению деталей насоса.

Так же одной из причин отказа работы насоса является образование «наледи» и «ледяных пробок» в трубопроводе. Это произошло из-за ошибок монтажа и эксплуатации напорного трубопровода:

- ✓ не предусмотрен слив воды из трубопровода,
- ✓ не предусмотрено утепление горизонтального участка,
- ✓ наличие участков постоянно заполненных водой, при выключенном насосном оборудовании.

Перекачиваемая насосами дренажная вода при отрицательной зимней температуре замерзает при выключении насосов. В таких обстоятельствах может произойти существенное ухудшение условий транспортировки перекачиваемой воды с перекрытием проходного сечения трубопровода, что приведет к увеличению гидравлических потерь и к значительному уменьшению расхода перекачиваемой жидкости или к ее полному прекращению

Рекомендации по предотвращению аварийных ситуаций.

Подбор насоса должен выполняться в строгом соответствии с его задачами. Недопустимо принимать большие параметры по расходу и регулировать его подачу перекрытием задвижки.

Диаметр трубопроводов, сопряженных с насосным агрегатом, должен быть подобран корректно. Недопустимо принимать минимальный диаметр напорного трубопровода, соответствующий размеру напорного патрубка. Подключение к напорному трубопроводу должно выполняться через диффузор или концентрический переход. Необходимо устранить горизонтальные участки без уклона и участки с занижениями по всей длине трубопровода.

Обвязка насоса должна соответствовать требованиям, предъявляемым к назначению и области применения насосного оборудования. Насос не сможет перекачивать рабочую среду без ее наличия в проточной части в момент запуска, не сможет длительно нормально работать при его эксплуатации вне своего рабочего диапазона, указанного в паспорте и руководстве по эксплуатации. Следует исключить работу в режиме ограниченного расхода или его полного отсутствия.

Заключение.

Проведенный анализ проблемы преждевременного выхода из строя насосного оборудования открытого водоотлива показал, что причиной является ошибка при проектировании, связанная с неправильным подбором диаметров труб, расположенных на всасывающем и напорном участках, сопряженных с насосом.

Сопутствующим фактором, приводящим к нарушению нормального эксплуатационного режима, являются ошибки монтажа и эксплуатации, приводящие к возникновению наледи внутри труб. Уменьшение диаметра способствует формированию условий для возникновения кавитации и вибрации, что приводит к повышенному износу насосов.

По совокупности проведенных исследований, можно сделать вывод, что причина преждевременного разрушения насосных агрегатов непосредственно связана с ошибкой при проектировании трубопроводной обвязки насосной станции, приведшей к отказу в работе в условиях отрицательных температур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обоснование рациональных способов и схем осушения месторождений полезных ископаемых / И. В. Быстрова, Т. С. Смирнова, Д. А. Бычкова, М. С. Мелихов // Астраханский вестник экологического образования. – 2018. – № 1(43). – С. 45-50.
2. **Тальгамер, Б. Л.** Водоотведение при разработке угольных месторождений по восстанию с внутренним отвалообразованием / Б. Л. Тальгамер, Ю. Г. Рославцева // Уголь. – 2020. – № 12(1137). – С. 7-10. – DOI 10.18796/0041-5790-2020-12-7-10.
3. **Григорьев, С. В.** Анализ причин отказа работы насосного оборудования при открытом водоотливе / С. В. Григорьев, В. В. Помогаева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 2(33). – С. 65-75. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.007.
4. **Долганов, А. В.** Режимы работы центробежных насосов при откачивании шахтных вод / А.В. Долганов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Сборник статей XIII Международной научно-технической конференции. Серия «Чтения памяти В.Р. Кубачека». – Екатеринбург, 2015. – С. 54-57.
5. **Сидлер, И. В.** О численном решении начально-краевой задачи для гиперболической системы в модели гидравлического удара / И. В. Сидлер // Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения (DYSC 2023): материалы 5-й Международной конференции. – Иркутск: Иркутский государственный университет, 2023. – С. 209-212.
6. Повышение точности гидравлического расчета напорных трубопроводов из полимерных и металлополимерных труб / О. А. Продоус, П. П. Якубчик, Л. Д. Терехов, Д. И. Шлычков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2024. – Т. 26. – № 1. – С. 140-151. – DOI 10.31675/1607-1859-2024-26-1-140-151.
7. **Палиивец, М. С.** Гидравлический расчет трубопровода с учетом длин влияния местных сопротивлений и их интерференции / М. С. Палиивец // Природообустройство. – 2022. – № 1. – С. 102-108. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-1-102-108.
8. **Жонкобилов, У. У.** Численные методы расчета напорных трубопроводов насосных станций на гидравлический удар / У. У. Жонкобилов // Инновационные технологии. – 2018. – № 2(30). – С. 36-39.
9. **Орлов, В. А.** Гидравлические исследования и расчет напорных трубопроводов, выполненных из различных материалов / В. А. Орлов // Вестник МГСУ. – 2009. – № 1. – С. 177-180.
10. **Помогаева, В. В.** Прикладные аспекты решения нелинейных уравнений в задачах гидравлического расчета / В. В. Помогаева // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 4-2(9-2). – С. 349-352. – DOI 10.12737/5183.
11. **Суханова, Ю. А.** Динамический расчет висячего трубопровода при гидравлическом ударе / Ю. А. Суханова, В. С. Сафронов // Строительная механика и конструкции. – 2011. – № 1(2). – С. 68-78.

Поступила в редакцию 21 сентября 2025

**ANALYSIS OF THE REASONS FOR THE FAILURE OF PUMPING
EQUIPMENT DURING OPEN DRAINAGE TAKING INTO
ACCOUNT ITS PIPING SYSTEM**

V. V. Pomogaeva, S. V. Grigoriev

Sergey Vasilyevich Grigoriev, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel. +7(473)207-22-20; e-mail: gsv-3@mail.ru

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

The problem of rapid failure of pumping equipment is considered using the example of an open drainage of a coal-flooded quarry. The hypothesis of incorrect selection of the pump and its piping is considered as an alleged reason. In the article we describe the principle of operation of the pump-pipeline system. We show the operating principle of the *pump-pipeline* system. We also analyzed and calculated the main characteristics of pumping equipment. We as well analyzed the decisions made on strapping the pump and carried out a hydraulic verification calculation. It is shown that the calculations performed for the selection of pumps do not take into account all hydraulic patterns. We justified the calculation for changing the diameters of pipelines, which will help improve the operation of pumps during open drainage. In conclusion we formulate several proposals for the correct selection of design parameters of pumping equipment, which will help eliminate failures and prevent premature failure.

Keywords: pumping equipment; strapping pumps; hydraulic calculation; drainage waters; open drainage.

REFERENCES

1. **Bystrova I. V., Smirnova T. S., Bychkova D. A., Melikhov M. S.** *Substantiation of rational methods and schemes of drainage of mineral deposits*. Astrakhan Bulletin of Environmental Education. 2018. No. 1(43). Pp. 45-50. (in Russian)
2. **Talgamer B. L., Roslavtseva Yu. G.** *Drainage during the development of coal deposits in Vosstaniya with internal dumping*. Coal. 2020. No. 12(1137). Pp. 7-10. DOI 10.18796/0041-5790-2020-12-7-10.
3. **Grigoriev S. V., Pomogaeva V. V.** *Analysis of the reasons for the failure of pumping equipment during open drainage*. Housing and communal infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 65-75. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.007. (in Russian)
4. **Dolganov A. V.** *Operating modes of centrifugal pumps during pumping of mine waters*. Technological equipment for mining and oil and gas industry. Collection of articles of the XIII International Scientific and Technical Conference. The series "Readings in memory of V.R. Kurbachek". Yekaterinburg. 2015. Pp. 54-57. (in Russian)
5. **Sidler I. V.** *On the numerical solution of the initial boundary value problem for a hyperbolic system in a hydraulic shock model*. Dynamic systems and computer Science: theory and Applications (DYSC 2023): proceedings of the 5th International Conference. Irkutsk: Irkutsk State University. 2023. Pp. 209-212. (in Russian)
6. **Prodous O. A., Yakubchik P. P., Terekhov L. D., Shlychkov D. I.** *Improving the accuracy of hydraulic calculation of pressure pipelines made of polymer and metal-polymer pipes*. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2024. Vol. 26. No. 1. Pp. 140-151. DOI 10.31675/1607-1859-2024-26-1-140-151. (in Russian)
7. **Palivets M. S.** *Hydraulic calculation of a pipeline taking into account the lengths of the influence of local resistances and their interference*. Environmental management. 2022. No. 1. Pp. 102-108. DOI 10.26897/1997-6011-2022-1-102-108. (in Russian)
8. **Jonkobilov U. U.** *Numerical methods for calculating pressure pipelines of pumping stations for hydraulic shock*. Innovative technologies. 2018. No. 2(30). Pp. 36-39. (in Russian)
9. **Orlov V. A.** *Hydraulic research and calculation of pressure pipelines made of various materials*. // Bulletin of MGSU. 2009. No. 1. Pp. 177-180. (in Russian)
10. **Pomogaeva V. V.** *Applied aspects of solving nonlinear equations in hydraulic calculation problems*. Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2014. V. 2. No. 4-2(9-2). Pp. 349-352. DOI 10.12737/5183. (in Russian)

11. **Sukhanova Yu. A., Safronov V. S.** *Dynamic calculation of a hanging pipeline under hydraulic impact.* Construction mechanics and structures. 2011. No. 1(2). Pp. 68-78. (in Russian)

Received 21 September 2025

Для цитирования:

Помогаева, В. В. Анализ причин отказа работы насосного оборудования при открытом водоотливе с учетом его обвязки трубопроводами / В. В. Помогаева, С. В. Григорьев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 3(34). – С. 82-91. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.009.

FOR CITATION:

Pomogaeva V. V., Grigoriev S. V. *Analysis of the reasons for the failure of pumping equipment during open drainage taking into account its piping system.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 3(34). Pp. 82-91. DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.009. (in Russian)

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ,
РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО**

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

DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.010

УДК 711.43

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИИ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОПОРНЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ**

Д. С. Вышлова, А. А. Федоровская

Вышлова Дарья Сергеевна, студент, кафедра «Городское строительство и хозяйство», Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация, тел.: +7(900)133-50-87; e-mail: dariavyshlova@mail.ru

Федоровская Альбина Ахмедовна, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Городское строительство и хозяйство», Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация, тел.: +7(903)407-87-57; e-mail: bina-87@mail.ru

Рассмотрена методика комплексной оценки территорий на примере Ростовской области. Определены факторы относительной ценности населённых пунктов для последующего присвоения им статуса опорных. Рассмотрены основные вопросы, решению которых необходимо уделить внимание в ходе возрождения малых населённых пунктов. Приведены таблицы с распределением баллов по следующим факторам: численность населения, условия транспортной обеспеченности, состояние дорожной сети и обеспеченность дорогами, инженерное обустройство территории, инженерно-геологические условия территории. Сформированы карты распределения факторов относительной ценности территории Ростовской области. Показано, что выбор оптимальных населённых пунктов в качестве «опорных» должен базироваться не только на основе анализа текущего состояния территории, но и с учетом возможных изменений.

Ключевые слова: опорный населённый пункт, комплексная оценка территории, муниципальный район.

Тенденцией последних лет является сокращение сельского населения, ввиду активной миграции в города, а также старение сельского населения и снижение численности населения трудоспособного возраста [1]. К причинам можно отнести:

- ✓ неразвитость инфраструктуры;
- ✓ низкий уровень доходов населения;
- ✓ отсутствие перспектив роста и развития.

Низкая рождаемость и миграция рабочей силы привели к снижению численности сельского населения за последние 20 лет почти на 2 миллиона человек.

Существуют различные субсидии, согласно программе «Комплексное развитие сельских территорий», направленные на привлечения молодежи в деревни. Снижение разрыва в социально-экономическом развитии и территориально-пространственном обеспечении комфортной среды жизнедеятельности человека предполагается обеспечить путем формирования опорных населённых пунктов на территории Российской Федерации [2].

Нормативно-правовая база выделения опорных населённых пунктов (далее – ОНП) представлена на сегодняшний день следующими документами:

- ✓ методические рекомендации по критериям определения опорных населённых пунктов и прилегающих территорий;
- ✓ государственная программа Российской Федерации «Комплексное развитие

сельских территорий», которая в плане определения ОНП таковым, опирается на методические рекомендации, приведенные выше;

✓ стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 г. с прогнозом до 2036 г.;

✓ перечень опорных населенных пунктов и прилегающих территорий Ростовской области, который закреплен постановлением Правительства Ростовской области от 24 октября 2019 г. N 748.

В настоящее время не существует единой методики классификации таких пунктов, кроме методических рекомендаций, которые применимы не во всех оценочных случаях. Для решения этой проблемы разрабатываются разные методики и предлагаются другие варианты присвоения населенным пунктам статуса опорных.

Комплексная оценка территории, как методология эволюционирует в трудах С. И. Кабаковой [3], затем у А.П. Ромма [4] и у других ученых, использующих математические модели [5,6].

Комплексная оценка территории [7] предполагает интегрированный подход к анализу территориального размещения и качественных характеристик всех видов ресурсов. В основном, факторы распределяют по подсистемам:

- ✓ социальная подсистема;
- ✓ экономическая подсистема;
- ✓ пространственная подсистема;
- ✓ экологическая подсистема.

Методика комплексной оценки территории достаточно давно легла в оценку кадастровой стоимости земель. Вследствие этого необходимые критерии оценки земель поселений применены из методики кадастровой оценки (методики оценки комплексного ценового зонирования [8]. На основе методики комплексной оценки территории были подобраны оценочные факторы населенных пунктов для последующего присвоения им статуса опорных.

Факторы относительной ценности территории и баллы, согласно которым они оцениваются, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Факторы относительной ценности населённых пунктов для последующего присвоения им статуса опорных

Фактор относительной ценности	Балл
Численность населения	0...1
Транспортная обеспеченность	0...1
Состояние дорожной сети и обеспеченность дорогами	0...1
Наличие объектов амбулаторного лечения	0...1
Уровень инженерного обустройства территории	0...1
Инженерно-геологические условия территории	0...1
Уровень развития сферы культурно-бытового обслуживания населения	0...1
Оценка лесных и водных ресурсов	0...1

На примере Ростовской области был проведен анализ и определение значений каждого оценочного фактора, то есть апробация разработанной методики.

Основываясь на административном делении, выделены оценочные участки – 55 шт., затем происходило распределение баллов между населенными пунктами Ростовской области в пределах от 0 до 1, где 0 – минимальное значение фактора в конкретном участке, а 1 – максимальное. Присваивание значений производится путем линейной интерполяции.

Ростовская область включает в себя двенадцать городских округов, к ним относятся: г. Азов; г. Батайск; г. Волгодонск; г. Гуково; г. Донецк; г. Зверево; г. Каменск-

Шахтинский; г. Новочеркасск; г. Новошахтинск; г. Ростов-на-Дону; г. Таганрог; г. Шахты и 43 муниципальных образования.

Фактор 1. Численность населения

В методических рекомендациях одним из условий определения опорного населенного пункта таковым является численность населения, которая составляет более 3 тыс. человек и не превышает 50 тыс. человек.

В результате анализа численности населения всех населенных пунктов Ростовской области [9], была составлена таблица присвоения баллов, согласно которой учитываются населенные пункты, которые имеют население меньше 500 человек. Так как один населенный пункт может подходить по другим критериям для присваивания ему статуса «опорного», население там может составлять всего лишь 600 человек. Предлагается такая корректировка методики, при которой будут учтены все села и хутора, где фактор населения является второстепенным. Данный фактор оценивается от 0 до 1 балла (табл. 2).

Таблица 2

Оценка фактора «Численность населения»	
Численность, человек	Балл
До 3000	0,1
от 3000 до 4000	0,2
от 4000 до 5000	0,3
от 5000 до 6000	0,4
от 6000 до 8000	0,5
от 8000 до 10000	0,6
от 10000 до 13000	0,7
от 13000 до 20000	0,8
от 20000 до 30000	0,9
от 30000 до 50000	1

Присвоив каждому муниципальному образованию балл, основываясь на средней численности каждого поселения, была построена карта относительной ценности территории «Численность населения» при помощи геоинформационных систем (рис. 1).

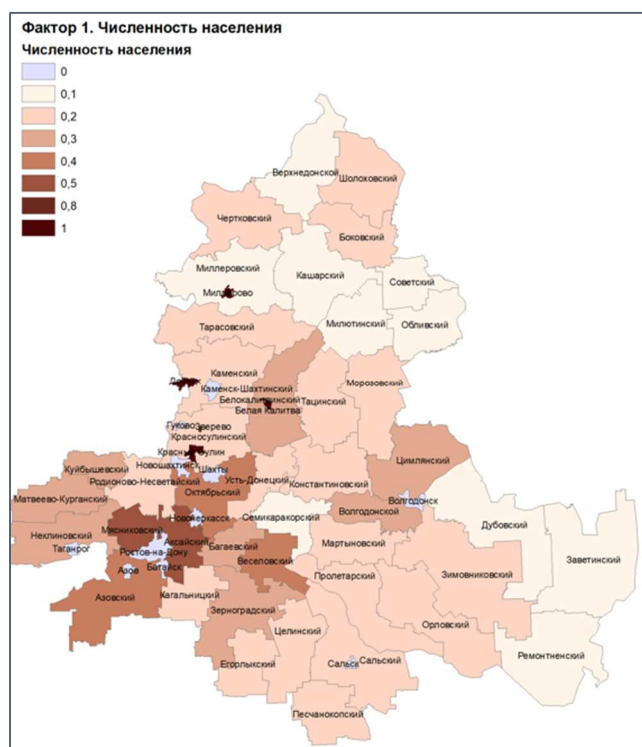


Рис. 1. Карта фактора относительной ценности территории «Численность населения»

Фактор 2. Транспортная обеспеченность.

Следующим критерием, по которому оценивается населенный пункт – это условие, при котором расстояние по дорогам общего пользования между населенным пунктом с численностью населения более 50 тыс. человек (включая население населенных пунктов, расположенных в радиусе транспортной доступности не более 5 км от данного населенного пункта) и опорным населенным пунктом должно превышать 50 км (далее – необходимое условие).

На основании списка городов, который представлен в табл. 3, были составлены радиусы территорий, где опорные населенные пункты размещать не рекомендуется.

Таблица 3

Города Ростовской области численностью больше 50 тыс. человек, а также города, входящие в Ростовскую агломерацию

Город	Численность населения
Волгодонск	168 048
Гуково	60 361
Каменск-Шахтинский	86 365
Новошахтинск	103 480
Сальское городское поселение – г. Сальск	57 937
Шахты	226 452
Азов	80 381
Батайск	124 987
Новочеркасск	167 751
Ростов-на-Дону	1 140 487
Таганрог	241 557

Потенциальными населенными пунктами также не могут являться города или поселки Ростовской области, которые входят в городскую агломерацию. Существующая сложившаяся система расселения Ростовской области обладает выраженной асимметричностью [10], соответственно, расстояния до ОНП от городов с населением более 50 тыс. чел. и прилегающих населенных пунктов приняты в заданных условиях.

Эти города не могут быть опорными населенными пунктами, так как их население превышает 50 тыс. человек. Карта Ростовской области с построенными радиусами от городов, население которых превышает 50 тыс. человек представлена на рис. 2.



Рис. 2. Карта Ростовской области с построенными радиусами от городов, численность населения которых превышает 50 тыс. человек

Как видно из рис.2, северная и юго-восточная части области расположены далеко от городов с населением больше 50 тыс. человек. Именно здесь возможно расположение

планируемых опорных населенных пунктов, которые следует располагать между самыми крупными городами и густонаселенными территориями.

Расстояние от города с населением более 50 тыс. человек до предполагаемого ОНП разделим на 6 зон. Важным параметром является расстояние по дорогам общего пользования между населенным пунктом с численностью населения более 50 тыс. человек и опорным населенным пунктом в 50 км. Данный подфактор оценивается от 0 до 1 балла (табл. 4).

Таблица 4

Оценка условия транспортной обеспеченности

Расстояние от города с населением более 50 тыс. человек, км	Балл
1 зона – 25	0
2 зона – 25...50, при площади попадания муниципального образования внутрь радиуса более от 75...100 %	0,2
3 зона – 25...50, при площади попадания муниципального образования внутрь радиуса более 50...75 %	0,45
4 зона – 25...50, при площади попадания муниципального образования внутрь радиуса более 25...50%	0,60
5 зона – 25...50, при площади попадания муниципального образования внутрь радиуса более 0...25%	0,85
6 зона – 50 и более	1

Присвоив каждому муниципальному образованию балл, основываясь на расстоянии от каждого муниципального населенного пункта более 50 км была построена карта (рис. 3).

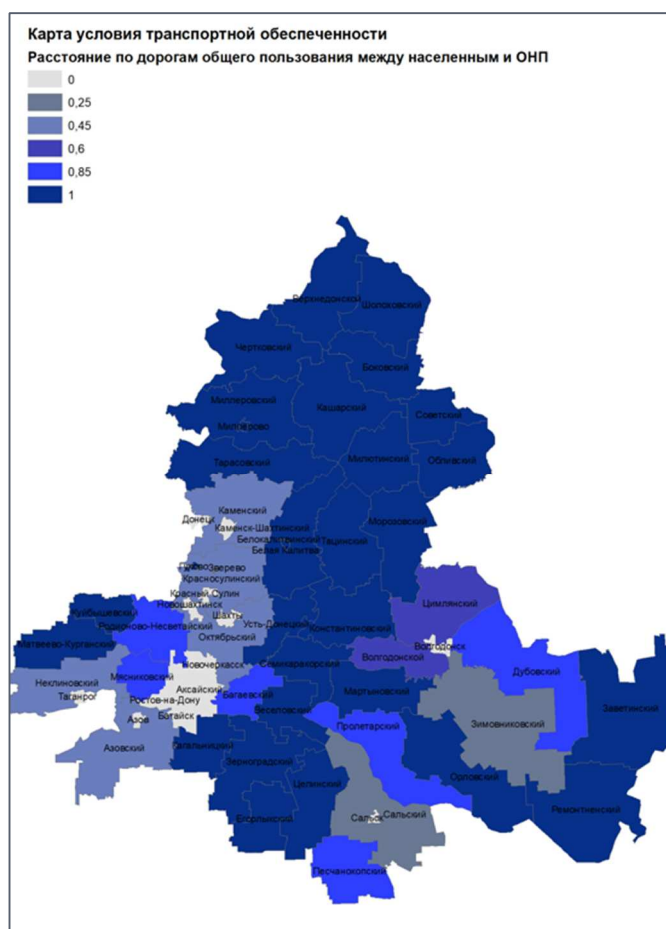


Рис. 3. Карта распределения фактора относительной ценности территории «Транспортная обеспеченность»

Наиболее остро проблема с дорогами (согласно данным, предоставляемым о дорожном комплексе на Официальном портале Ростовской области – www.donland.ru), не отвечающим нормативным требованиям, стоит в Советском сельском районе – 68,9 %, Пролетарском районе – 65,8 %, городе Таганроге – 64 %, городе Шахты – 63,2 %, Багаевском районе – 54,9 %, Сальском районе – 53,8 % [11].

Районы, где часть дорог приведена в нормативное состояние оценивается в 0,5 баллов, по наличию этих улучшений. На основе существующих данных была составлена таблица градации баллов по территориям с разным уровнем развития транспортных систем (табл. 5).

Суммарный балл фактора «Состояние дорожной сети и обеспеченность дорогами»

Муниципальный район	Обеспеченность автодорогами общего пользования	Состояние дорожной сети		Общий балл
		Приведены в нормативное состояние	Не отвечающие нормативным требованиям	
Азовский район	1	0,5	1	0, 83
Аксайский район	1	0,5	1	0, 83
Багаевский район	0	0	0	0
Белокалитвенский район	0,5	0	0,5	0,33
Верхнедонской район	0	0,5	1	0,3
Заветинский район и т.д.	-1	0,5	1	0,17

На основе составленной табл. 3 разработана карта фактора «Состояние дорожной сети и обеспеченность дорогами», где каждому району присвоен балл по трем категориям в зависимости от состояния и обеспеченности дорожной сети (рис. 4).

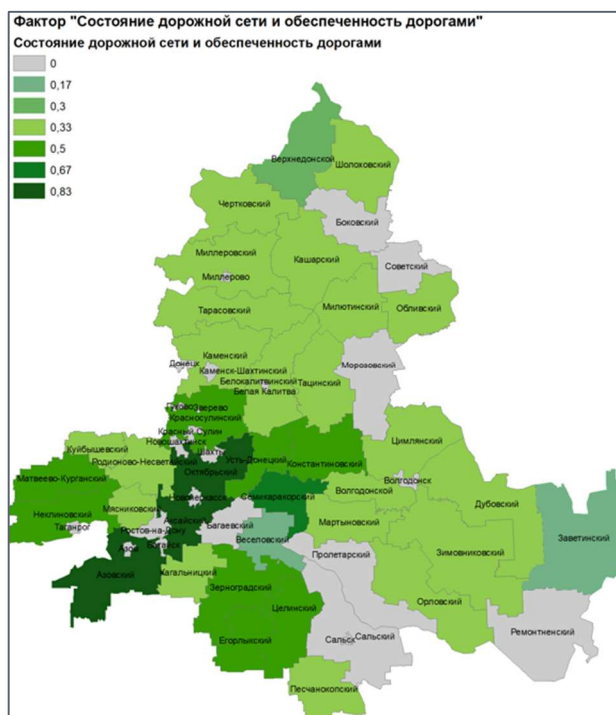


Рис.4. Карта распределения фактора относительной ценности территории «Состояние дорожной сети и обеспеченность дорогами»

Фактор 4. Наличие объектов амбулаторного лечения (станции скорой помощи) с радиусом обслуживания — 25 км.

Вторым условием присвоения населенному пункту статуса опорного является наличие объектов амбулаторного лечения или создания станций скорой помощи, при отсутствии таковой.

Наличие станции скорой помощи и их радиус обслуживания, который составляет 25 км, является необходимым условием для назначения любого населенного пункта — опорным. Время прибытия бригады скорой помощи должен быть в пределах 20 минут с момента ее вызова [12]. Если потенциальный ОНП расположен в пределах доступности станций скорой помощи, то ему присваивается 1 балл. Если опорный населенный пункт находится за пределами доступности станций скорой помощи, то муниципальному району присваивается 0, что означает необходимость создания таких станций. Если радиус обслуживания захватывает район, то 0,5.

Фактор 5. Уровень инженерного обустройства территории.

При анализе фактора обеспеченность территории инженерными сетями учитываются такие показатели, как: водоснабжение; канализация; теплоснабжение; электроснабжение; газоснабжение.

Оценку по уровню инженерного обустройства территории предлагается проводить по количеству проведенных мероприятий, связанных с улучшением качества инженерных сетей по каждому району, относительно всей области в целом.

Анализ проведенных мероприятий проводился на основе отчетов о реализации государственных программ Ростовской области.

Для присвоения баллов муниципальным районам была составлена формула для определения общего балла :

$$O = (M_p / M_v) \times 10, \quad (1)$$

где M_p – количество мероприятий, направленных на улучшение инженерных систем в одном муниципальном районе; M_v – количество мероприятий, направленных на улучшение инженерных систем во всей области.

Результаты вычислений по формуле (1) представлены в табл. 6.

Таблица 6

Суммарный балл фактора «Инженерное обустройство территории»

Муниципальный район	Водоснабжение	Канализация	Теплоснабжение	Электроснабжение	Газоснабжение	Сети связи	Общий балл
Азовский район	0			0,5	6	7,5	0,45
Аксайский район				2,5	3	5,5	0,33
Багаевский район					1	1	0,06
Белокалитвинский	2				5	7	0,42
г. Белая Калитва				1		1	0,06
Боковский район					3	3	0,18
Верхнедонской район					8	8	0,48
Веселовский район				0,5	2	2,5	0,15
Волгодонской район			1		1	2	0,12
Дубовский район					6	6	0,36
Егорлыкский район	1		0,5		1	2,5	0,15
Заветинский район и			1		3	4	0,24

Фактор 6. Инженерно-геологические условия территории.

Основываясь на карте современных геологических процессов, можно выделить основные, формирующие представление об инженерно-геологических условиях территории.

Экзогенные геологические процессы (ЭГП) являются частью формирования современного рельефа. Пораженность территории ЭГП влияет в том числе на затраты по восстановлению территорий из-за заболачивания, овражной эрозии, засоления, просадки лесов и оползней. Если на территории происходят данные процессы, ей присваивается балл – 1, со знаком минус, так как имеет отрицательный эффект для освоения территорий.

Интенсивность проявления ЭГП делится на три уровня: сильной пораженности территорий отдельными видами ЭГП присваивается балл равный 1, средней пораженности – 0,6, слабой – 0,2 балла.

Локальные проявления ЭГП присутствуют не во всех районах области, поэтому при оценке фактора им присваивается либо балл, равный 1, если такие проявления присутствуют, и 0, если оползневые процессы на территории не происходят.

Засоление почв одно из важных ограничений обеспечения продовольственной безопасности, поэтому он выделяется отдельным подфактором.

Юг и восток Ростовской области имеют наибольшее количество засоленных почв [13], им присваивается балл, равный 1.

Потенциально засоленные почвы, с залеганием солей на глубине 2-5 метра находятся на западе области, глубоко засоленные почвы, с залеганием солей на глубине 1-2 метра составляют северную и восточную часть. Западным и северным районам Ростовской области присваивается 0,5 баллы из-за потенциального развития засоленности почв.

На основе данных о геологических процессах была составлена таблица 7 «Инженерно-геологические условия территории».

Таблица 7

Распределение баллов по фактору «Инженерно-геологические условия территории»

Муниципальный район	Подфактор «Проявления ЭГП»	Подфактор «Засоленность почв»	Общий балл
Азовский район	0,8	0,5	0,65
Аксайский район	0,4	0,5	0,45
Багаевский район	0,5	0,5	0,5
Белокалитвинский район	0,4	0,5	0,45
Боковский район	0,4	0,5	0,45
Верхнедонской район	0,5	0,5	0,5
Веселовский район	0,5	0,5	0,5
Волгодонской район	0,4	1	0,7
Дубовский район	0,7	1	0,85
Егорлыкский район	0,4	1	0,7
Заветинский район и т.д.	0,7	1	0,85

Фактор 7. Уровень развития сферы культурно-бытового обслуживания населения.

Оценка по этому фактору производится по степени насыщенности территории объектами культурно-бытового обслуживания населения [14-16]. В список учреждений культурно-бытового обслуживания населения входят следующие:

- ✓ медицинские учреждения и организации;
- ✓ детские сады и школы;
- ✓ учреждения среднего профессионального образования;
- ✓ высшие учебные заведения;
- ✓ учреждения культуры и другие объекты социокультурного быта.

Фактор 8. Оценка лесных и водных ресурсов.

Оценка данного фактора характеризует устойчивость урбоэколандшафта и производится на основании данных о площади водного и лесного фондов [17]. Площадь земель водного фонда Ростовской области составляет 217,3 тыс. га или 2% территории области. Основная часть подземных источников сосредоточена на севере Ростовской области. Среди них не отвечают требованиям СанПиНа по санитарно-химическим нормативам 72,2% проб воды, по микробиологическим – 3,2%. Оценка лесных ресурсов осуществляется, если на исследуемой территории расположены участки хозяйственного освоения земель лесного фонда.

Заключение.

Предложена методика комплексной оценки территории, адаптированная для подбора пунктов, приоритетных для присвоения им статуса «опорных». Показано, что выбор оптимальных населенных пунктов в качестве «опорных» должен базироваться не только на основе анализа текущего состояния территории, но и с учетом возможных изменений.

На основе результатов комплексной оценки может быть сформирован рейтинговый список населенных пунктов, по совокупности факторов являющихся оптимальными для присвоения им статуса «опорных». Предложенная методика является универсальной и может быть применена при принятии решений органами муниципальной власти.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Блинова, Т. В.** Демографическое старение сельских территорий России / Т. В. Блинова // АПК: Экономика, управление. – 2021. – № 2. – С. 76-80.
2. **Садковская, О. Е.** Новая стратегия пространственного развития Российской Федерации, перспективы для Ростовской области / О. Е. Садковская // Архитектон: известия вузов. – 2025. – № 1(89). – DOI 10.47055/19904126_2025_1(89)_19.
3. **Перцик, Е. Н.** Теоретические предпосылки управления процессами урбанизации / Е. Н. Перцик, С. И. Кабакова // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году: Сборник научных трудов Российской академии архитектуры и строительных наук. Том 1. – Москва: Издательство АСВ, 2018. – С. 486-490. – DOI 10.22337/9785432302656-486-490.
4. **Ромм, А. П.** Математико-модельные основы комплексной оценки и функционального зонирования городских территорий / А. П. Ромм // Вопросы оценки. – 1997. – № 4. – С. 2-11.
5. **Бакаева, Н. В.** Принципы оценки эффективности градостроительной деятельности в России / Н. В. Бакаева, И. В. Черняева // Экономика строительства и природопользования. – 2022. – № 1-2(82-83). – С. 134-144.
6. **Толстых, Т. В.** Адаптация методики комплексной оценки территории для территориально-пространственного развития строительного комплекса субъекта РФ (на примере Ростовской области) / Т. В. Толстых, А. А. Федоровская, С. Г. Шеина // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 6(90). – С. 476-483.
7. **Иоселиани, Н. А.** Методические подходы к оценочному зонированию для целей государственной кадастровой оценки / Н. А. Иоселиани // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2018. – № 7(202). – С. 41-49. – DOI 10.24411/2072-4098-2018-17002.
8. **Маркварт, Э.** Система опорных населенных пунктов как механизм управления пространственным развитием: теоретические и практические аспекты / Э. Маркварт, Н. Н. Киселева, Д. П. Соснин // Власть. – 2022. – Т. 30, № 2. – С. 95-111. – DOI 10.31171/vlast.v30i2.8939

9. **Дружинин, А. Г.** Динамика численности населения муниципальных образований Ростовской области: типологическая поливариантность / А. Г. Дружинин // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2023. – № 3. – С. 139-147.
10. **Садковская, О. Е.** Центры межмуниципального обслуживания Ростовской области / О. Е. Садковская // Архитектура и современные информационные технологии. – 2023. – № 1(62). – С. 183-196. – DOI 10.24412/1998-4839-2023-1-183-196.
11. **Березовский, Р. Ю.** Анализ текущего состояния автомобильного общественного транспорта в границах Ростовской агломерации / Р. Ю. Березовский, А. А. Суконкин, Е. Е. Шаталова // Градостроительство и урбанистика. – 2023. – №1. – С. 183-196.
12. **Бегичева, С. В.** Модель оптимального размещения станций и филиалов скорой медицинской помощи / С. В. Бегичева // Журнал Вестник евразийской науки. – 2016. – №6. – С. 1-10.
13. Комплексная экологическая оценка Ростовской области / А. Д. Хаванский, В. В. Латун, А. М. Иванченко, Ю. Ю. Меринова, И. В. Бессмертный, Н. Н. Шпак // International Agricultural Journal. – 2021. – № 1(64). – С. 257-270.
14. **Крупко, А. Э.** Динамика и проблемы развития системы культурно-бытового обслуживания населения центрально-черноземного района в постсоветское время / А. Э. Крупко // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2022. – №3. – С. 149-159.
15. **Тютюников, А. А.** Концептуальный подход к организации сельских территорий: исследование на основе идентификации агломерационных структур / А. А. Тютюников, А. В. Улезько // Регионоведение. – 2025. – Т. 33. – № 1(130). – С. 120-137. – DOI 10.15507/2413-1407.033.202501.120-137.
16. **Медведева, Л. С.** Диагностика социально-демографической безопасности региона / Л. С. Медведева, Н. С. Землякова // Научный альманах стран Причерноморья. – 2025. – Т. 11. – № 1. – С. 13-21. – DOI 10.23947/2414-1143-2025-11-1-13-21.
17. **Ермолаева, С. В.** Природно-ландшафтная дифференциация и природная устойчивость экосистем региона / С. В. Ермолаева, Б. И. Кочуров // Экология урбанизированных территорий. – 2024. – № 1. – С. 23-30. – DOI 10.24412/1816-1863-2024-1-23-30.

Поступила в редакцию 25 мая 2025

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE ROSTOV REGION FOR THE FORMATION OF SUPPORTIVE SETTLEMENTS

D. S. Vyshlova, A. A. Fedorovskaya

Daria Sergeevna Vyshlova, student at the Department of Urban Construction and Management, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, tel.: +7(900)133-50-87; e-mail: dariavyshlova@mail.ru

Albina Akhmedovna Fedorovskaya, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Urban Construction and Economics, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, tel.: +7(863)201-90-99; e-mail: bina-87@mail.ru

The article considers the methodology of complex assessment for territories using the Rostov Region as an example. We determined some factors of relative value of settlements for their subsequent assignment of the status of supporting ones. We as well consider the main issues that need addressing during the revival of small settlements. Here we show the tables with the distribution of points for the following factors: population size, transport provision conditions, road network condition and provision with roads, engineering arrangement of the territory, engineering and geological conditions of the territory. Also we formed maps of different factors that influence relative value of the Rostov Region territory. It is shown that the choice of best possible settlements as "supportive" ones should be based not only on the analysis of the current state of the territory, but also taking into account possible changes.

Keywords: supportive settlement; comprehensive assessment of the territory; municipal district.

REFERENCES

1. **Blinova T. V.** *Demographic aging of rural areas of Russia*. APK: Economy, management. 2021. No. 2. Pp. 76-80. (in Russian)
2. **Sadkovskaya O. E.** *New strategy for spatial development of the Russian Federation, prospects for the Rostov region*. Architecton: news of universities. 2025. No. 1(89). DOI 10.47055/19904126_2025_1(89) 19. (in Russian)
3. **Pertsik E. N., Kabakova S.I.** *Theoretical prerequisites for managing urbanization processes*. Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2017: Collection of scientific papers of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. Volume 1. Moscow, ASV Publishing House. 2018. Pp. 486-490. DOI 10.22337/9785432302656-486-490. (in Russian)
4. **Romm A. P.** *Mathematical and modeling foundations of a comprehensive assessment and functional zoning of urban areas*. Assessment issues. 1997. No. 4. Pp. 2-11. (in Russian)
5. **Bakaeva N. V., Chernyaeva I. V.** *Principles of assessing the effectiveness of urban development activities in Russia*. Economics of construction and nature management. 2022. No. 1-2 (82-83). Pp. 134-144. (in Russian)
6. **Tolstykh T. V., Fedorovskaya A. A., Sheina S. G.** *Adaptation of the methodology for a comprehensive assessment of the territory for the territorial-spatial development of the construction complex of a constituent entity of the Russian Federation (using the Rostov Region as an example)*. Engineering Bulletin of the Don. 2022. No. 6(90). Pp. 476-483. (in Russian)
7. **Ioseliani N. A.** *Methodological approaches to appraisal zoning for the purposes of state cadastral valuation*. Property relations in the Russian Federation. 2018. No. 7(202). Pp. 41-49. DOI 10.24411 / 2072-4098-2018-17002. (in Russian)
8. **Markvart E., Kiseleva N. N., Sosnin D. P.** *The system of supporting settlements as a mechanism for managing spatial development: theoretical and practical aspects*. Power. 2022. Vol. 30, No. 2. Pp. 95-111. DOI 10.31171 / vlast.v30i2.8939 (in Russian)
9. **Druzhinin A. G.** *Population dynamics of municipalities of the Rostov region: typological polyvariance*. Geopolitics and ecogeodynamics of regions. 2023. No. 3. Pp. 139-147. (in Russian)
10. **Sadkovskaya O. E.** *Inter-municipal service centers of the Rostov region. Architecture and modern information technologies*. 2023. No. 1(62). Pp. 183-196. DOI 10.24412 / 1998-4839-2023-1-183-196. (in Russian)
11. **Berezovsky R. Yu., Sukonkin A. A., Shatalova E. E.** *Analysis of the current state of automobile public transport within the boundaries of the Rostov agglomeration*. Urban planning and urban studies. 2023. No. 1. Pp. 183-196. (in Russian)
12. **Begicheva S. V.** *Model of optimal placement of stations and branches of emergency medical care*. Journal Bulletin of Eurasian Science. 2016. No.6. Pp. 1-10.
13. **Khavansky A. D., Latun V. V., Ivanchenko A. M., Merinova Yu. Yu., Bessmertny I. V., Shpak N. N.** *Comprehensive environmental assessment of the Rostov region*. International Agricultural Journal. 2021. No. 1(64). Pp. 257-270. (in Russian)
14. **Krupko A. E.** *Dynamics and problems of development of the system of cultural and household services for the population of the Central Black Earth Region in the post-Soviet period*. Geopolitics and ecogeodynamics of regions. 2022. No. 3. Pp. 149-159. (in Russian)

15. **Tyutyunikov A. A., Ulezko A. V.** *Conceptual approach to the organization of rural areas: a study based on the identification of agglomeration structures.* Regionology. 2025. Vol. 33. No. 1(130). Pp. 120-137. DOI 10.15507/2413-1407.033.202501.120-137. (in Russian)
16. **Medvedeva L. S., Zemlyakova N. S.** *Diagnostics of socio-demographic security of a region.* Scientific almanac of the Black Sea countries. 2025. V.11. No.1. Pp. 13-21. DOI 10.23947/2414-1143-2025-11-1-13-21 (in Russian)
17. **Ermolaeva S. V., Kochurov B. I.** *Natural landscape differentiation and natural sustainability of regional ecosystems.* Ecology of urbanized territories. 2024. No. 1. Pp. 23-30. DOI 10.24412/1816-1863-2024-1-23-30. (in Russian)

Received 25 May 2025

Для цитирования:

Вышлова, Д. С. Комплексная оценка территории Ростовской области для формирования опорных населенных пунктов / Д. С. Вышлова, А. А. Федоровская // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 3(34). – С. 92-103. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.010.

FOR CITATION:

Vyshlova D. S., Fedorovskaya A. A. *Comprehensive assessment of the Rostov region for the formation of supportive settlements.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 3(34). Pp. 92-103. DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.010. (in Russian)

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.011

УДК 504.45(470.324)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ АПРОБАЦИИ УНИФИЦИРОВАННОЙ МЕТОДИКИ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ИСТОЧНИКОВ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ПИТЬЕВОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ КРУПНОГО АГРОПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА

С. А. Куролап, О. В. Клепиков, Т. И. Прожорина, П. А. Суханов

Куролап Семен Александрович, д-р геогр. наук, профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)220-75-22; e-mail: skurolap@mail.ru

Клепиков Олег Владимирович, д-р биол. наук, профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)220-75-22; e-mail: klepa1967@rambler.ru

Прожорина Татьяна Ивановна, канд химических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)220-75-22; e-mail: coriandre@rambler.ru

Суханов Павел Алексеевич, аспирант кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)220-75-22; e-mail: sukhanov.1990@bk.ru

Исследование направлено на создание и практическое внедрение стандартизированной методики комплексной геоэкологической оценки состояния источников децентрализованного хозяйственно-питьевого водопользования. В качестве ключевого региона для апробации выбрана Воронежская область, характеризующаяся высокой численностью населения (2,285 млн. человек) и преобладанием индустриально-аграрного сектора экономики. Разработанный алгоритм проведения исследований основывается на интеграции современных научных подходов, направленных на сбор, систематизацию, анализ и последующую визуализацию данных, характеризующих качество питьевой воды. В качестве методического инструментария применяется вероятностно-статистический анализ экологических и гидрогеологических данных, дополненный методами геоинформационного моделирования для установления закономерностей пространственного распределения загрязняющих веществ, а также процедурой оценки экологических рисков, оказывающих влияние на здоровье населения. Представлены результаты полевых исследований (январь 2024...июнь 2025 гг.), в ходе которых был проведен отбор и анализ 302 проб воды из различных источников: скважины (113 проб); колодцы (53 пробы); водоразборные колонки (31 проба); родники (105 проб). Представлены результаты лабораторных исследований, иллюстрирующие значительные превышения санитарно-гигиенических нормативов по следующим показателям: нитраты (30,29 % проб); соли жёсткости (28,37 %); аммонийный азот (12,5 %); железо (5,8 %).

Ключевые слова: децентрализованное водоснабжение; качество питьевой воды; экологические риски; загрязнение подземных вод; санитарно-гигиенические нормативы; Воронежская область; гидрохимический анализ.

Проблема доступа к качественной питьевой воде остается глобальным вызовом как для развитых государств (страны ЕС, Северной Америки), так и для регионов с ограниченными экономическими ресурсами. Современные исследования зарубежных специали-

стов (США, Франция, Мексика, Турция, Шри-Ланка, Индия) демонстрируют значительное влияние химического состава воды на здоровье населения, особенно при наличии таких компонентов как: тяжелые металлы, соли жесткости, соединения азота, фтор и другие микроэлементы [1...7].

Аналогичные тенденции наблюдаются и в Российской Федерации. На примере Воронежской области – ключевого промышленно-аграрного региона Центрального Черноземья – отчетливо прослеживается негативное антропогенное воздействие на водные ресурсы. Результаты многолетнего мониторинга подтверждают устойчивое превышение установленных санитарно-гигиенических нормативов качества питьевой воды в различных типах водоисточников, что формирует устойчивые риски для здоровья местного населения [8].

Научное сообщество Воронежской области располагает значительным объемом данных о состоянии централизованных систем водоснабжения, полученных в ходе многолетних эколого-гигиенических исследований. Результаты этих работ, представленные в трудах Механтьева И.И. [9], Клепикова О.В. [10], Куролапа С.А. [11] и в официальных отчетах Роспотребнадзора (1998...2024 гг.)¹, содержат важную информацию о химическом загрязнении питьевой воды и связанных с этих рисков для здоровья населения.

Однако анализ существующих исследований выявил существенный пробел в изучении качества воды из децентрализованных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения (ДХПВ), которые являются основными для большинства сельских поселений региона. Особую озабоченность вызывает тот факт, что:

- ✓ вода из колодцев, скважин и родников потребляется без предварительной очистки;
- ✓ многочисленные исследования [12...14] подтверждают систематическое превышение гигиенических нормативов;
- ✓ существующая система мониторинга Роспотребнадзора не охватывает данные источники.

Сложившаяся ситуация требует незамедлительного решения, поскольку:

- ✓ отсутствие контроля создает потенциальную угрозу для здоровья сельского населения;
- ✓ нет достоверных данных для оценки экологических рисков;
- ✓ затруднено обоснование региональной водохозяйственной политики.

В этой связи проведение комплексных геоэкологических исследований качества воды ДХПВ в Воронежской области приобретает особую актуальность. Подобные исследования позволят: получить объективные данные о химическом составе воды; оценить степень риска для здоровья населения; разработать научно обоснованные рекомендации; сформировать базу для принятия управленческих решений.

Полученные результаты могут стать основой для разработки региональных программ по улучшению качества питьевой воды в сельской местности и создания системы мониторинга децентрализованных источников водоснабжения.

Цель исследования направлена на создание методологии комплексной геоэкологической оценки состояния источников децентрализованного водоснабжения, используемых для хозяйственно-питьевых нужд, с целью минимизации экологических рисков и повышения безопасности водопользования в условиях крупного агропромышленного региона.

В качестве модельного региона исследований определена Воронежская область, где проживает 2,285 млн человек. Предлагаемая методологическая основа заключается в комплексном объединении научных принципов сбора, обработки и анализа сведений о каче-

¹ Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Воронежской области в 2024 году». Воронеж: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Воронежской области. 2025. 196 с.

стве воды, потребляемой населением, с процедурой оценки экологических рисков для здоровья.

Данный синтез реализуется через применение аппарата вероятностно-статистического анализа, методов геоинформационного моделирования и технологий картографической визуализации [15; 16].

Анализ водообеспеченности населения региона выявил, что централизованное водоснабжение доступно 61,3 % жителей, тогда как 38,7 % (примерно 892,4 тыс. человек) используют децентрализованные источники, включая индивидуальные скважины, колодцы, родники и водоразборные колонки, качество воды в которых зачастую не соответствует нормативным требованиям. Мониторинговые исследования охватили три городских округа (Воронеж, Нововоронеж, Борисоглебск) и 162 населенных пункта в 31 районе области. Выбор точек отбора проб обоснован необходимостью репрезентативного отражения ситуации по всему региону с учетом плотности населения, что позволяет получить достоверные данные о водопользовании.

Полевые исследования были организованы в интервале с января 2024 по июль 2025 года. В рамках натурных изысканий был отобран 301 образец воды из различных источников водоснабжения: 113 скважин, 105 родников, 53 колодцев и 31 водоразборной колонки. Аналитическая часть работы была реализована на базе аккредитованной эколого-аналитической лаборатории Воронежского государственного университета.

Определение физико-химических показателей проводилось инструментальными методами:

- ✓ титриметрическим (общая жесткость, концентрация ионов Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-);
- ✓ потенциометрическим (водородный показатель pH);
- ✓ кондуктометрическим (солесодержание);
- ✓ колориметрическим (суммарное содержание железа, марганца, бора, а также ионов аммония, нитритов и нитратов) в соответствии с методикой [17].

Полученные данные сопоставлялись с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) для децентрализованных источников водоснабжения в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21².

Оценка качества воды включала органолептические, химические и микробиологические показатели. Превышения нормативов по органолептическим характеристикам (интенсивность вкуса – 12,5 %, запаха – 11,54 %, цветность – 9,62 %, наличие осадка – 8,65 %) свидетельствуют о загрязнении исследуемых источников, что подтверждает необходимость разработки мер по улучшению их состояния.

Результаты проведенных химических анализов проб воды, представленные в таблице, свидетельствуют о значительном превышении допустимых норм по ряду ключевых показателей. Наибольшее количество неудовлетворительных результатов зафиксировано по содержанию нитратов (30,3 % случаев), солей жесткости (28,4 %) и аммонийного азота (12,5 %), тогда как концентрация железа превышала нормативные значения в 5,8 % случаев.

Наибольшую озабоченность вызывает состояние источников нецентрализованного водоснабжения, где зафиксированы критические превышения гигиенических нормативов.

Концентрации нитратов достигали значений, в 11,2 раза превышающих ПДК, железа общего – в 5,5 раза, а азота аммонийного – в 5,3 раза.

Помимо этого, отмечены существенные отклонения от нормы по параметрам общей жесткости (до 3,1 ПДК) и минерализации (до 1,3 ПДК). Серьезную тревогу вызывает широкая географическая распространенность нитратного загрязнения, которое было выявле-

² СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (Раздел III. Нормативы качества и безопасности воды). Москва, 2021. - 987 с.

но в системах водоснабжения 14 муниципальных районов и 3 городских округов, охватывающая тем самым около 50 % площади модельного региона (таблица).

Характеристики качества воды децентрализованных источников водоснабжения на территории Воронежской области (по данным натурных исследований)

Анализируемый показатель	Диапазон значений, ед. изм.	Среднее значение	Установленный норматив (ПДК)	Частота превышения норматива, %	Максимально зарегистрированное превышение, раз
Физико-химические характеристики					
Водородный показатель (pH)	5,61... 8,35	6,5	6,0...9,0	1,44	–
Солесодержание (Минерализация), мг/л	77...1930	518	1500	0,48	1,29
Общая жесткость, ммоль/л	2,1...30,5	9,0	10,0	28,37	3,05
Основные макроионы					
Кальций (Ca^{2+}), мг/л	15,4...318,8	109	200	2,71	1,59
Магний (Mg^{2+}), мг/л	3,0...146,2	40	100	3,85	1,46
Гидрокарбонаты (HCO_3^-), мг/л	12,9...532,2	216,4	500	0,96	1,06
Сульфаты (SO_4^{2-}), мг/л	10,5...510	78,6	500	0,48	1,02
Хлориды (Cl^-), мг/л	6,9...684,4	87,9	350	2,40	1,95
Специфические загрязняющие вещества					
Железо общее (Feобщ), мг/л	0,01...5,51	0,2	1,0	5,80	5,51
Марганец общий (Mnобщ), мг/л	0,01...0,44	0,04	0,5	0	0
Бор общий (Bобщ), мг/л	0,05...1,5	0,13	0,5	0,96	2,0
Аммоний (NH_4^+), мг/л	0,05...10,53	0,79	2	12,5	5,27
Нитриты (NO_2^-), мг/л	0,01...6,51	0,23	3,3	2,40	1,97
Нитраты (NO_3^-), мг/л	0,19...505,5	46,7	45	30,29	11,23

В ходе исследования эпидемиологической безопасности питьевой воды было установлено, что 31,8 % отобранных проб представляют угрозу для здоровья населения из-за превышения допустимых микробиологических показателей.

Анализ экологических рисков, проведенный в соответствии с методическими указаниями Р.2.1.10.3968-23³, выявил значительное негативное влияние качества воды из децентрализованных источников водоснабжения на здоровье населения. Наибольшую опасность с точки зрения неканцерогенных рисков представляют два ключевых компонента:

✓ нитраты, уровень воздействия которых на детское население превышает допустимые значения в 19 районах и 2 городских округах ($\text{HQ} = 1,03...6,63$), а на взрослое население – в 10 районах и 1 городском округе ($\text{HQ} = 1,06...2,84$);

✓ общая жесткость воды, оказывающая негативное влияние как на детей, так и на взрослых в 8 районах ($\text{HQ} = 1,03...1,43$).

При оценке кумулятивного воздействия марганца, железа и нитратов на кроветворную систему установлено, что средние концентрации этих веществ не представляют значительного риска для взрослых ($\text{HI} = 0,76$), однако для детского населения индекс опасности превышает допустимый уровень ($\text{HI} = 1,78$). В случае максимальных зафиксированных концентраций риск развития неканцерогенных эффектов становится существенным как для детей ($\text{HI} = 6,33$), так и для взрослых ($\text{HI} = 2,71$).

³ Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. - Москва: Роспотребнадзор (2023). 221.

Проведенные расчеты свидетельствуют о том, что приблизительно 55,8 тыс. жителей региона (4,1 % детей и 2,5 % взрослых) входят в группу популяционного риска из-за регулярного потребления некачественной питьевой воды [18].

Территория Воронежской области была всесторонне оценена на предмет степени загрязнения децентрализованных источников питьевого водоснабжения с привлечением методики сигмальных отклонений. В отношении каждого из приоритетных физико-химических показателей были сконструированы специализированные оценочные шкалы, что создало основу для дифференциации муниципальных образований по трем градациям: низкой, средней и высокой степени загрязненности. Проведенный анализ массива данных, включающего 302 водные пробы, демонстрирует, что от 9 до 11 из 34 административных районов идентифицированы как территории повышенного экологического риска, характеризующиеся сочетанным критическим загрязнением по всем четырем контролируемым ингредиентам. Параллельно установлено, что в 24 % случаев (72 пробы) регистрируется комплексное нарушение нормативов по двум ключевым параметрам – солевому составу (минерализации) и величине общей жесткости.

Для установления взаимосвязи между концентрацией загрязняющих веществ в питьевой воде и заболеваемостью населения, ассоциированной с водным фактором, был проведен корреляционный анализ. Результаты выявили две статистически значимые закономерности. Во-первых, обнаружена умеренная положительная корреляция (12 % взаимной обусловленности) между общей жесткостью воды и частотой случаев мочекаменной болезни среди взрослого населения, что свидетельствует о влиянии природного фактора риска. Во-вторых, зафиксирована связь между содержанием нитратов в воде и заболеваемостью болезнями крови и кожи (22 % и 14 % соответственно), что указывает на техногенный характер загрязнения.

По итогам исследования проведено геоэкологическое зонирование Воронежской области на основе оценки риска для здоровья населения, ассоциированного с водопользованием [19, 20]. Районирование выполнено методом интеграции нормализованных медико-экологических индикаторов: качества питьевой воды и уровня заболеваемости.

Апробированная методика позволила выделить пять ранговых зон. В категорию высокого и повышенного риска отнесены восемь муниципалитетов, пространственно сконцентрированных в центральной, восточной (Борисоглебский, Новохоперский), северной (Каширский, Аннинский, Таловский, Бутурлиновский), а также частично западной (Каменский) и южной (Богучарский) частях региона. Ключевыми негативными факторами в этих районах с развитым агропромышленным комплексом являются: стабильное загрязнение вод нитратами и повышенная жесткость, обусловленная гидрогеохимией неоген-четвертичных водоносных систем. Это создает предпосылки для повышенной заболеваемости мочекаменной болезнью и патологиями системы кроветворения.

Оптимальные условия идентифицированы в северо-западном (Семилукский, Нижнедевицкий, Хохольский, Лискинский), юго-восточном (Воробьевский, Калачеевский, Петропавловский) и отчасти восточном (Поворинский, Терновский) секторах. Данные территории характеризуются пониженной антропогенной нагрузкой и водообеспечением за счет верхнедевонских водоносных комплексов, обладающих улучшенными природными гидрогеохимическими свойствами.

Заключение.

В рамках настоящей работы осуществлены разработка и верификация унифицированной методологической схемы, предназначенной для комплексной геоэкологической диагностики источников нецентрализованного водоснабжения на урбанизированных территориях Воронежской области, подверженных сочетанному воздействию природных и техногенных факторов.

Сформированный методический аппарат базируется на конвергенции современных направлений эколого-гигиенического и географического знания, что позволяет реализовать многокритериальную оценку качества питьевой воды на основе интегрированного изучения гидрохимических, микробиологических и медико-экологических показателей с использованием методов геоинформационного анализа и средств пространственной интерпретации результатов.

Эмпирическая проверка предложенного подхода в условиях Воронежской области подтвердила его операциональную эффективность и возможность существенной оптимизации системы мониторинга и диагностики состояния водных объектов.

*«Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда
№ 25-17-00219, <https://rscf.ru/project/25-17-00219/>»*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Corso, M.** An Assessment of Current and Past Concentrations of Trihalomethanes in Drinking Water throughout France / M. Corso, C. Gale, R. Seux, P. Beaudeau // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2018. – No. 15(8):1669. – Doi: 10.3390/ijerph15081669.
2. **Eslami, F.** An integrated evaluation of groundwater quality using drinking water quality indices and hydrochemical characteristics: a case study in Jiroft, Iran / F. Eslami, K. Yaghmaeian, A. Mohammadi [et al.] // *Environmental Earth Sciences*. – 2019. – Vol. 78. – Pp. 1-13.
3. **Levéque, J.** Drinking water in West Virginia (USA): Tap water or bottled water – what is the right choice for college students? / J. Levéque, R. Burns // *Journal of Water and Health*. – 2018. – Vol. 16. – doi: 10.2166/wh.2018.129.
4. **Saydan Kanberoglu, G.** Fabrication and characterization of SiO₂@Fe₃O₄@nanodiamonds for vortex-assisted magnetic solid-phase extraction of lead in cigarette samples prior to FAAS detection / G. Saydan Kanberoglu, E. Yilmaz, M. Soylak // *J Iran Chem Soc*. – 2020. – Vol. 17. – Pp. 1627-1634. – doi: 10.1007/s13738-020-01882-6.
5. **Schaider, L. A.** Environmental justice and drinking water quality: are there socioeconomic disparities in nitrate levels in U.S. drinking water? / Schaider, L.A., Swetschinski, L., Campbell, C. [et al.] // *Environmental Health*. – 2019. – Vol. 18. – No 3. – Pp. 1-15.
6. **McDonough, L. K.** The influence of water-rock interactions on household well water in an area of high prevalence chronic kidney disease of unknown aetiology (CKDu) / L. K. McDonough, K. T. Meredith, C. Nikagolla, R. B. Banati // *Npj Clean Water*. – 2021. – Vol. 4. – No 1.
7. **Karunanidhi, D.** Revealing drinking water quality issues and possible health risks based on water quality index (WQI) method in the Shanmuganadhi River basin of South India / D. Karunanidhi, P. Aravinthasamy, T. Subramani [et al.] // *Environ Geochem Health*. – 2021. – Vol. 43. – Pp. 931-948. – doi: 10.1007/s10653-020-00613-3.
8. Современные гигиенические проблемы питьевого водоснабжения населения Воронежской области / И. И. Механтьев, О. В. Клепиков, С. А. Куролап, Л. В. Попова // *Тенденции развития науки и образования*. – 2021. – № 79(1). – С. 28-32. – DOI: 10.18411/trnio-11-2021-09.
9. **Механтьев, И. И.** Риск здоровью населения Воронежской области, обусловленный качеством питьевой воды / И. И. Механтьев // *Здоровье населения и среда обитания*. – 2020. – № 4(325). – С. 37-42. – DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-325-4-37-42>.
10. **Механтьев, И. И.** Комплексная оценка санитарно-эпидемиологической надежности систем централизованного питьевого водоснабжения сельских территорий / И. И.

Механтьев, О. В. Клепиков // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2020. – № 5. – С. 119-124. – DOI: 10.24411/2075-4094-2020-16754.

11. **Куролап, С. А.** Оценка риска для здоровья населения, связанного с качеством питьевой воды и безопасностью систем водоснабжения / С. А. Куролап, О. В. Клепиков, А. Г. Баскакова // Оценка экологических рисков водопользования на территории крупного урбанизированного региона : сборник статей / под ред. С. А. Куролапа. – Воронеж: Цифровая полиграфия, 2021. – С. 5-20.

12. Геоэкологическая оценка состояния родников на территории Воронежской области / А. С. Боева, Т. И. Прожорина, О. В. Клепиков, С. В. Щербинина // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2022. – № 1. – С. 103-112. – DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2022.1/9091>.

13. **Прожорина, Т. И.** Геоэкологическая оценка качества источников хозяйственно-питьевого водоснабжения урбанизированных и сельских территорий Воронежской области / Т. И. Прожорина, С. А. Куролап, Ю. А. Преснякова // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. – 2020. – Т. 30. – № 1. – С. 53-63. – DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-53-63.

14. **Прожорина, Т. И.** Анализ загрязнения питьевых вод нитратами и оценка риска для здоровья населения Воронежской области / Т. И. Прожорина, А. Г. Баскакова, А. С. Боева // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Серия: Естественные и точные науки. – 2021. – Т. 15. – № 1. – С. 89-95. – DOI: 10.31161/1995-0675-2021-15-1-89-95.

15. **Базарский, О. В.** Статистические методы обработки информации в экологии : учебное пособие / О. В. Базарский, А. А. Курышев, Е. Ю. Силкин. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2021. – 54 с.

16. **Маркин, В. Н.** Особенности методологии комплексного водопользования / В. Н. Маркин, Л. Д. Раткович, И. В. Глазунова. – Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2016. – 140 с.

17. **Методы экологических исследований:** учебное пособие / Н. В. Каверина [и др.] ; под ред. Н. В. Кавериной. – Воронеж: Научная книга, 2019. – 355 с.

18. **Практикум по оценке риска для здоровья населения, связанного с химическим загрязнением окружающей среды:** учебное пособие / С. А. Куролап [и др.] ; под ред. С. А. Куролапа. – Воронеж: Научная книга, 2018. – 98 с.

19. **Куролап, С. А.** Интегральное медико-экологическое зонирование как основа региональной стратегии устойчивого развития Воронежского региона / С. А. Куролап, О. В. Клепиков // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18. – № 2. – С. 516-519.

20. **Сарычев, Д. В.** Практикум по геоинформационным технологиям. QGIS в экологии и природопользовании: учебно-методическое пособие. Ч. 1 / Д. В. Сарычев. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2016. – 28 с.

Поступила в редакцию 21 августа 2025

**ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE TESTING OF A UNIFIED
METHODOLOGY FOR A COMPREHENSIVE ASSESSMENT
OF THE QUALITY OF SOURCES OF DECENTRALIZED DRINKING
WATER USE IN A LARGE AGRO-INDUSTRIAL REGION**

S. A. Kurolap, O. V. Klepikov, T. I. Prozhorina, P. A. Sukhanov

Semyon Aleksandrovich Kurolap, Dr. Sc. (Geogr.), Professor at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)220-75-22; e-mail: skurolap@mail.ru

Oleg Vladimirovich Klepikov, Dr. Sc. (Biology), Professor at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)220-75-22; e-mail: klepa1967@rambler.ru
Tatiana Ivanovna Prozhorina, Cand. Sc. (Chemistry), Associate Professor at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)220-75-22; e-mail: coriandre@rambler.ru.

Pavel Alekseevich Sukhanov, Postgraduate Student of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)220-75-22; e-mail: sukhانov.1990@bk.ru.

The research is aimed at the creation and practical implementation of a standardized methodology for a comprehensive geoecological assessment of the state of sources of decentralized economic and drinking water use. The Voronezh Region was chosen as the key region for testing, characterized by dense population (2.285 million people) and the predominance of the industrial and agricultural sector of the economy. The developed research algorithm is based on the integration of modern scientific approaches aimed at collecting, systematizing, analyzing and then visualizing data characterizing the quality of drinking water. Probabilistic and statistical analysis of environmental and hydrogeological data is used as methodological tools, supplemented by geoinformation modeling methods to establish patterns of spatial distribution of pollutants, as well as a procedure for assessing environmental risks affecting public health. As part of field research (January 2024...June 2025), 302 water samples were taken and analyzed from various sources: wells (113 samples); wells (53 samples); water collection columns (31 samples); springs (105 samples). Laboratory tests revealed significant excess of sanitary and hygienic standards for the following indicators: nitrates (30.29 % of samples); hardness salts (28.37 %); ammonium nitrogen (12.5 %); iron (5.8 %).

Keywords: decentralized water supply; drinking water quality; environmental risks; groundwater pollution; sanitary and hygienic standards; Voronezh region; hydrochemical analysis.

REFERENCES

1. **Corso M., Galey C., Seux R., Beaudreau P.** *An Assessment of Current and Past Concentrations of Trihalomethanes in Drinking Water throughout France*. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018. Vol. 15. No. 8. Pp. 1669. DOI: 10.3390/ijerph15081669.
2. **Eslami F., Yaghmaeian K., Mohammadi A. [et al.]** *An integrated evaluation of groundwater quality using drinking water quality indices and hydrochemical characteristics: a case study in Jiroft, Iran*. Environmental Earth Sciences. 2019. Vol. 78. Pp. 1-13.
3. **Levéque J., Burns R.** *Drinking water in West Virginia (USA): Tap water or bottled water – what is the right choice for college students?* Journal of Water and Health. 2018. Vol. 16. No. 5. Pp. 771-781. DOI: 10.2166/wh.2018.129.
4. **Saydan Kanberoglu G., Yilmaz E., Soy lak M.** *Fabrication and characterization of SiO₂@Fe₃O₄@nanodiamonds for vortex-assisted magnetic solid-phase extraction of lead in cigarette samples prior to FAAS detection*. J Iran Chem Soc. 2020. Vol. 17. Pp. 1627-1634. DOI: 10.1007/s13738-020-01882-6.
5. **Schaider L.A., Swetschinski L., Campbell C. [et al.]** *Environmental justice and drinking water quality: are there socioeconomic disparities in nitrate levels in U.S. drinking water?* Environmental Health. 2019. Vol. 18. No. 3. Pp. 1-15.
6. **McDonough L. K., Meredith K. T., Nikagolla C., Banati R. B.** *The influence of water-rock interactions on household well water in an area of high prevalence chronic kidney disease of unknown aetiology (CKDu)*. Npj Clean Water. 2021. Vol. 4. No. 1.
7. **Karunanidhi D., Aravinthasamy P., Subramani T. [et al.]** *Revealing drinking water quality issues and possible health risks based on water quality index (WQI) method in the Shanmuganadhi River basin of South India*. Environ Geochem Health. 2021. Vol. 43. Pp. 931-948. DOI: 10.1007/s10653-020-00613-3.

8. **Mekhantiev I. I., Klepikov O. V., Kurolap S. A., Popova L. V.** *Modern hygienic problems of drinking water supply of the population of the Voronezh region.* Trends in the development of science and education. 2021. No. 79-1. Pp. 28-32. DOI: 10.18411/trnio-11-2021-09. (in Russian)
9. **Mekhantiev I. I.** *Health risk to the population of the Voronezh region due to the quality of drinking water.* Public Health and Life Environment. 2020. No. 4(325). Pp. 37-42. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-325-4-37-42. (in Russian)
10. **Mekhantiev I. I., Klepikov O. V.** *Comprehensive assessment of the sanitary and epidemiological reliability of centralized drinking water supply systems in rural areas.* Bulletin of New Medical Technologies. Electronic edition. 2020. No. 5. Pp. 119-124. DOI: 10.24411/2075-4094-2020-16754. (in Russian)
11. **Kurolap S. A., Klepikov O. V., Baskakova A. G.** *Health risk assessment for the population associated with the quality of drinking water and the safety of water supply systems.* In: Kurolap S. A. (ed.). *Environmental risk assessment of water use in a large urbanized region: collection of articles.* Voronezh. Digital publishing house. 2021. Pp. 5-20. (in Russian)
12. **Boeva A. S., Prozhorina T. I., Klepikov O. V., Shcherbinina S. V.** *Geoecological assessment of the state of springs in the Voronezh region.* Vestnik of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology. 2022. No. 1. Pp. 103-112. DOI: 10.17308/geo.2022.1/9091. (in Russian)
13. **Prozhorina T. I., Kurolap S. A., Presnyakova Yu. A.** *Geoecological assessment of the quality of sources of household and drinking water supply in urban and rural areas of the Voronezh region.* Vestnik of Udmurt University. Series: Biology. Earth Sciences. 2020. Vol. 30. No. 1. Pp. 53-63. DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-53-63. (in Russian)
14. **Prozhorina T. I., Baskakova A. G., Boeva A. S.** *Analysis of drinking water pollution by nitrates and assessment of health risk for the population of the Voronezh region.* News of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and Exact Sciences. 2021. Vol. 15. No. 1. Pp. 89-95. DOI: 10.31161/1995-0675-2021-15-1-89-95. (in Russian)
15. **Bazarsky O. V., Kuryshv A. A., Silkin E. Yu.** *Statistical methods of information processing in ecology: textbook.* Voronezh, Izdatelsky dom VGU Publ. 2021. 54 p. (in Russian)
16. **Markin V. N., Ratkovich L. D., Glazunova I. V.** *Features of the methodology of complex water use.* Moscow. Russian State Agrarian University. Moscow Timiryazev Agricultural Academy Publishing house. 2016. 140 p. (in Russian)
17. **Kaverina N. V. [et al.]** *Methods of environmental research: textbook.* Ed. by N. V. Kaverina. Voronezh, Nauchnaya kniga Publ. 2019. 355 p. (in Russian)
18. **Kurolap S. A. [et al.]** *Workshop on health risk assessment associated with chemical pollution of the environment: textbook.* Ed. by S. A. Kurolap. Voronezh. Scientific book. 2018. 98 p. (in Russian)
19. **Kurolap S. A., Klepikov O. V.** *Integral medical and ecological zoning as a basis for the regional strategy of sustainable development of the Voronezh region.* Vestnik of Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences. 2013. Vol. 18. No. 2. Pp. 516-519. (in Russian)
20. **Sarychev D. V.** *Workshop on geoinformation technologies. QGIS in ecology and environmental management: teaching aid. Part 1.* Voronezh. Publishing house of VGU. 2016. 28 p. (in Russian)

Received 21 August 2025

Для цитирования:

Анализ результатов апробации унифицированной методики для комплексной оценки качества источников децентрализованного питьевого водопользования крупного агропромышленного региона / С. А. Куролап, О. В. Клепиков, Т. И. Прохорова, П. А. Суханов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 3(34). – С. 104-112. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.011.

FOR CITATION:

Kurolap S. A., Klepikov O. V., Prozhorina T. I., Sukhanov P. A. *Analysis of the results of the testing of a unified methodology for a comprehensive assessment of the quality of sources of decentralized drinking water use in a large agro-industrial region.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 3(34). Pp. 104-112. DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.011. (in Russian)

ОЦЕНКА ТЕНДЕНЦИЙ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА КЛИМАТА ГОРОДА ВОРОНЕЖА

Л. М. Акимов, Е. Л. Акимов

Акимов Леонид Мусамудинович, канд. геогр. наук, доцент, заведующий кафедрой природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(951)850-49-82; e-mail: akl63@bk.ru

Акимов Евгений Леонидович, канд. геогр. наук, доцент кафедры природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)266-56-54; e-mail: akimovvsu@gmail.com

Целью исследования является проведение комплексной оценки термического режима климатических сезонов года г. Воронежа на фоне глобального повышения температуры. Материалы и методы исследования основываются на анализе ежедневных данных наблюдений со стационарных постов наблюдения атмосферы г. Воронежа. Для оценки связей между метеорологическими параметрами атмосферы и комфортностью окружающей среды использовались графоаналитические и вероятностные методы анализа. Результатами исследования явилось установление временных закономерностей распределения термического режима в различные сезоны года. Определены его основные характеристики. Выявлены динамика и характер направленности изменений.

Ключевые слова: распределение температур; климат; термический режим; погода; сезон.

В последние годы значительно возросло понимание роли состояния окружающей среды как важнейшего фактора, определяющего качество жизни и здоровья населения [1]. Этот факт признан в мировом масштабе. В Европейской хартии по окружающей среде и здоровью населения признается «право каждой личности на окружающую среду, способствующую максимально достижимому уровню здоровья и благополучия». Всякая деятельность в этой области должна основываться на научных фактах.

Основные принципы государственной политики в области экологии и здравоохранения, сформулированы в стратегии Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) «Здоровье для всех» [2].

Здоровье человека определяется основной триадой, включающей: факторы наследственности, факторы качества жизни, а также факторы окружающей среды. Вклад каждого из этих факторов в этиологию развития заболеваний очень изменчив и зависит от анализируемого вида заболеваний, состояния здравоохранения и социально-экономического статуса общества [3, 4].

В настоящее время наша планета сталкивается с глобальными климатическими изменениями, особое значение приобретает изучение взаимодействия между климатическими условиями и качеством жизни населения [5]. Одним из последствий изменений климата является увеличение экологического риска связанного с аномально высокой или низкой температурой воздуха, т.е. волн жары и холода.

В связи с этим значимую роль в настоящее время играет медико-географическая оценка климатических условий – важная составная часть комплексной характеристики природно-экологического потенциала территории. Медико-географическая оценка климатических условий является интегральной характеристикой степени благоприятности климатических условий для человека, определяемая рядом биоклиматических показателей, отражает климатическую комфортность среды обитания, влияющую на «региональный

фон» общественного здоровья [6].

В рамках медико-географической оценки климатических условий в настоящее время особую важность приобретают исследования, в задачу которых входит биоклиматическая оценка территории на региональном уровне. Биоклиматическая оценка - определение положительных и отрицательных воздействий климатических факторов и их комплексов на организм.

Биоклиматическая оценка городской среды позволяет выявить, насколько климат города соответствует потребностям человека в комфортности его жизни на данной территории. Основным фактором биоклиматической оценки территории выступает термический режим, как основополагающий адиабатический фактор среды [7...11].

В рамках данного вопроса оценка биоклиматического режима густонаселенных городов приобретает особую актуальность. В нашем случае объектом исследования является город Воронеж в первой четверти 21 века.

Источником метеорологической информации г. Воронежа (34122), за период наблюдений с 2000 по 2024 гг., послужили опубликованная информация Мирового центра данных (Научно-прикладной справочник «Климат России»), ежедневные данные по восьми основным трехчасовым срокам наблюдения, размещенным на сайте Гидрометцентра России (<http://meteocenter.net/raob.htm>). Также использовались фондовые данные «Воронежского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» – филиал ЦГМС (<http://www.cgms.ru>). Ежедневный анализ синоптической ситуации, определяющей погодные условия в Воронеже, проводился на основании материалов, представленных на сайте Гидрометцентра России (<https://meteoinfo.ru/mapsynop>).

Целью проводимых исследований является изучение особенностей климатической комфортности, термического режима сезонов года г. Воронежа в первой четверти 21 века на фоне глобального повышения температуры, а также оценка динамики термического режима г. Воронежа, установление тенденций его изменений в различные сезоны года.

Термический режим атмосферы обусловлен притоком тепла от Солнца. Преобладание средних значений температуры окружающей среды в течение определенного промежутка времени определяется циркуляцией атмосферы и сезоном года.

Сезон - это деление года, основанное на изменениях в погоде, экологии и количестве дневных часов в данном регионе. Существование сезонов связано с движением Земли на орбите вокруг Солнца. Причиной смены времён года является наклон земной оси по отношению к плоскости эклиптики и вращение Земли вокруг Солнца. В умеренном климате наблюдаются четыре выраженных сезона года.

Общее представление о термическом режиме может дать график годового хода распределения среднесуточных температур в городе Воронеж с 2006 по 2024 года, представленный на рис. 1.

Определение длительности климатических сезонов года осуществлялось с помощью графоаналитического метода анализа данных. По рис. 1 можно определить, даты начала и окончания сезона, которые в отличие от календарных не имеют привязки к конкретной дате, а определяются преодолением пороговых значений температур:

- ✓ ≤ 0 °C – зима;
- ✓ $0 - 15$ °C – весна/осень;
- ✓ ≥ 15 °C – лето.

Также по рисунку 2 можно выделить пороговые значения, характеризующие:

- ✓ ≥ 10 °C – вегетационный период;
- ✓ ≤ 8 °C – отопительный сезон.

Продолжительность сезона оценивалась «в числах января» путем сквозного подсчета дней года, где за 1 принималась дата 1 января, date 1 февраля соответствовала цифра 32 и т.д., а 31 декабря равнялась 365 (366), соответственно.

Зима – самый холодный сезон в Воронеже, со среднесуточными многолетними температурами от -5°C до -10°C . Характерна устойчивая антициклональная циркуляция, особенно в январе, приводящая к морозной и безоблачной погоде. Основной источник холода – вторжения арктического и сибирского воздуха. Атмосферные осадки в основном выпадают в виде снега. Относительная влажность высокая, а уровень солнечной инсоляции – минимальный в году.

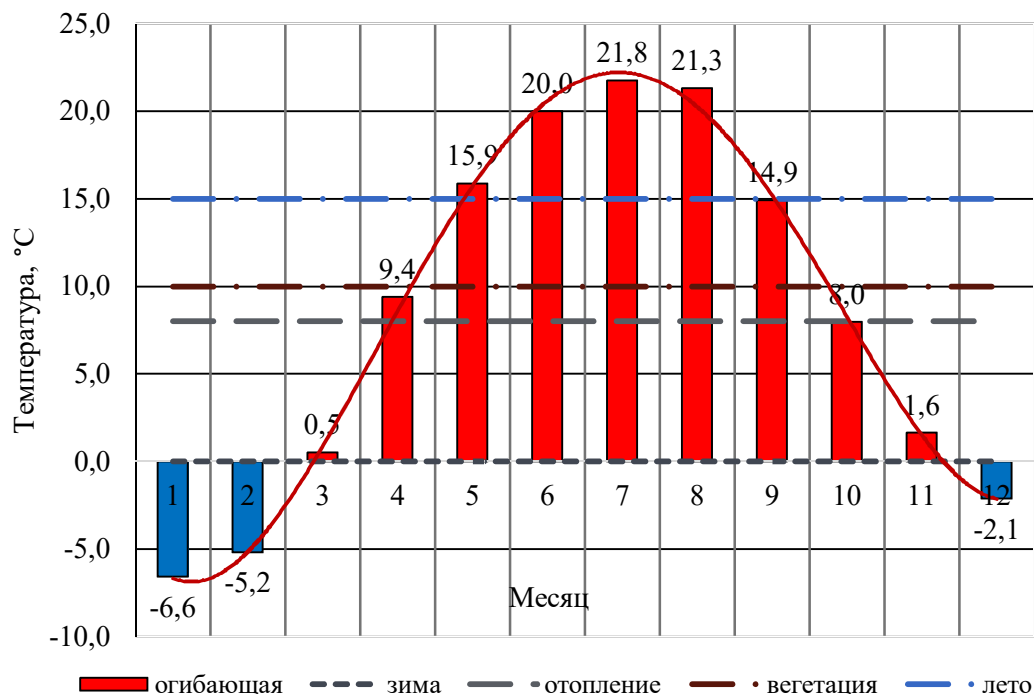


Рис. 1. График годового хода температуры в г. Воронеж за 2006...2024 гг.

По графику среднемесячного распределения температур начало зимнего периода отмечается при устойчивом снижении среднесуточной температуры воздуха ниже 0°C .

Результаты анализа основных характеристик термического режима в зимний период представлены в табл. 1.

На основании анализа табл. 1 установлено, что за период наблюдений с 2006 по 2024 гг., средняя дата начала сезона за исследуемый период составила - 335 день, что соответствует 1 декабря и совпадает с календарной датой. При этом наблюдались значительные колебания начала сезона от 313...314 дня (9...10 декабря) в 2011, 2014, 2016 годах, до 366 дня (1 января) следующего года в 2006, 2019, 2024 годах, соответственно.

Средняя дата окончания зимнего сезона 71 день, что соответствует 12 марта. Наиболее раннее окончание сезона наблюдалось в 2016 году на 45 день (14 февраля). Также раннее окончание зимы наблюдалось в 2023 году – 61 день (2 марта), 62 день (3 марта) и 64 день (5 марта).

Средняя продолжительность зимнего сезона составляет 101 день. Наименьшая продолжительность зимнего сезона наблюдалась в 2024 году и составила 70 дней, а также в 2019 году – 71 день. Наиболее продолжительная зима наблюдалась в 2018 году и составила 139 дней, а также в 2011 году – 135 дней.

Проследить динамику изменений продолжительности зимнего сезона за период наблюдений с 2006 по 2024 гг. можно по рис. 2.

Из анализа рис. 2 видно, по значениям углового коэффициента линейного тренда $(-0,45)$ можно сделать вывод, что имеется тенденция к уменьшению продолжительности

зимнего сезона в г. Воронеже на 4,5 дня / за 10 лет, т.е. зима от года в год становится короче.

Таблица 1

Основные характеристики термического режима климата Воронежа в зимний период

Год	Продолжительность сезона			Термический режим				
	начало	конец	продолжительность	Сумма температур T , °C	max °C	дата	min, °C	дата
2006	366	81	81	-684,9	0,3	20 мар.	-28,3	18 янв.
2007	316	64	113	-367,9	4,4	19 янв.	-19,9	23 февр.
2008	334	60	91	-440,2	8,1	7 дек.	-22,1	10 янв.
2009	333	74	106	-471,9	3,4	13 мар.	-24,0	16 дек.
2010	337	75	103	-447,5	4,2	10 дек.	-26,7	24 янв.
2011	314	84	135	-748,4	6,5	6 дек.	-21,4	19 февр.
2012	333	75	107	-810,2	9,6	1 дек.	-23,5	11 февр.
2013	338	87	114	-434,0	4,6	16 мар.	-15,4	27 янв.
2014	313	60	112	-540,6	2,9	10 янв.	-25,5	30 янв.
2015	349	67	83	-251,3	6,1	21 дек.	-20,7	7 янв.
2016	314	45	96	-482,2	2,7	3 февр.	-19,0	25 янв.
2017	366	62	62	-403,4	2,8	24 февр.	-20,1	8 февр.
2018	315	89	139	-517,6	3,4	7 янв.	-15,8	24 янв.
2019	366	71	71	-277,5	4,8	9 янв.	-16,4	25 янв.
2020	321	75	90	-113,5	4,5	28 нояб.	-10,9	9 февр.
2021	334	74	105	-506,0	4,8	26 февр.	-18,5	23 янв.
2022	320	83	128	-351,2	3,4	22 февр.	-15,3	13 янв.
2023	336	61	105	-375,7	5,7	2 янв.	-19,2	7 янв.
2024	366	70	70	-369,7	4,8	13 февр.	-21,5	8 янв.
среднее	335	71	101	-452,3	4,6		-20,2	

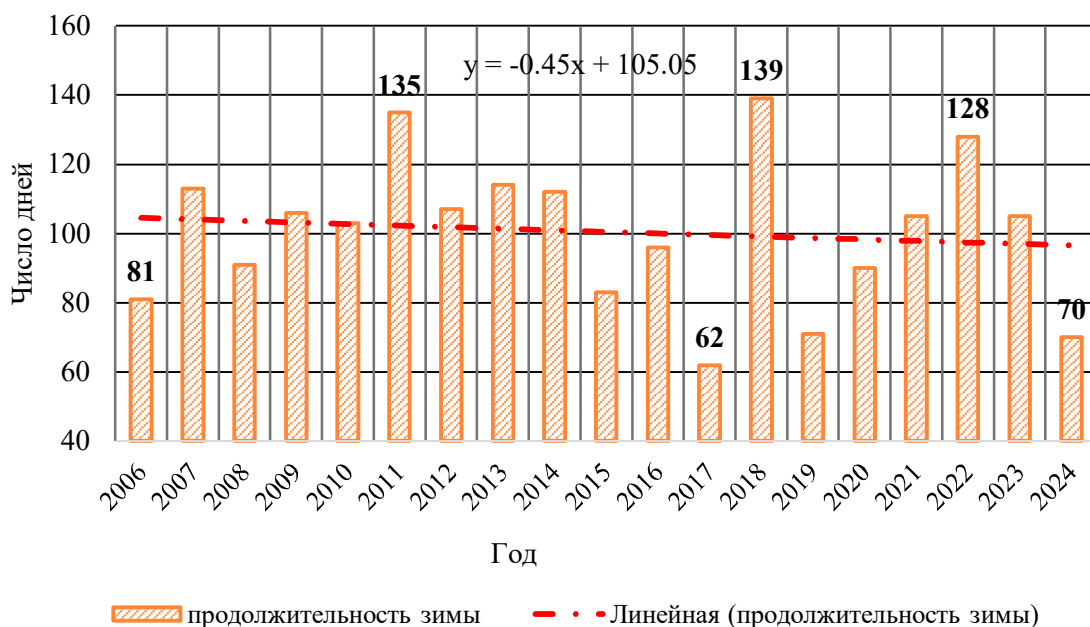


Рис. 2. Динамика продолжительности зимнего сезона на метеостанции городе Воронеже в период с 2006 по 2024 гг.

Сумма температур за сезон определяет энергетический потенциал территории, определяемый притоком солнечной радиации и влиянием циркуляции атмосферы. Согласно данным табл. 1, средняя сумма температур за зимний период составляет -452.3 °C. Коле-

бания суммы температур в зимний сезон составляют от **-810.2 °C** (2012 г.) до **-113.5 °C** (2020 г.).

На основе этих данных можно судить о наличии происходящего глобального потепления на исследуемой территории. Наглядно данное утверждение показывает график суммы температур за период 2006 по 2024 гг., представленный на рис. 3.

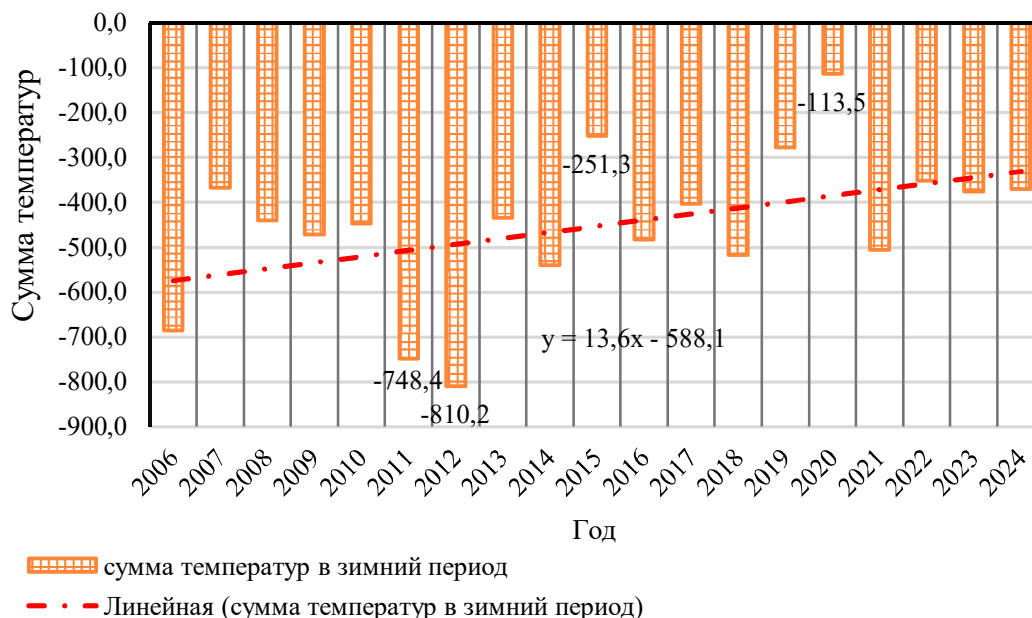


Рис. 3. Многолетний ход суммы температур в зимний период с 2006 по 2024 гг.

По приведенным на рис. 3 данным видно, что наблюдается значительный рост суммы температур на 13,6 °C/год.

Из анализа табл. 1 следует, что минимальная температура воздуха наблюдалась в 2006 году (-28,3 °C – 18 января), а максимальная в 2012 году (+9,6 °C – 1 декабря). На основе полученных данных построен график минимальных и максимальных температур за зимний период с 2006 по 2024 гг. (рис. 4).

Анализируя графики распределения максимальных и минимальных температур за зимний период с 2006 по 2024 гг., можно сделать вывод о том, что наблюдается тенденция уменьшения фактических абсолютных значений минимальной температуры (величина тренда 0,4677 °C / год) при практически сохранении неизменной тенденции максимальных значений (-0,0023 °C/ год), что свидетельствует о более теплой зиме.

Проведенный комплексный анализ термического режима выявил повышение климатической комфортности территории г. Воронежа в зимний период и уменьшение его продолжительности. Аналогично проведен анализ термического режима г. Воронежа в другие сезоны года.

Когда температура поднимается выше 0 °C, зима заканчивается и начинается весна. Длится она до тех пор, пока температура воздуха не поднимется выше 15 °C.

Весна в Воронеже характеризуется переходом от зимнего термического режима к летнему режиму. Циркуляция атмосферы характеризуется частой сменой погодных условий. Весна нестабильна из-за борьбы арктических и субтропических воздушных масс.

В марте среднесуточная температура постепенно поднимается выше 0 °C, начинается таяние снежного покрова. Активизация солнечной радиации приводит к быстрому прогреву поверхности. Апрель сопровождается увеличением длительности светового дня и устойчивым ростом температуры воздуха. В мае устанавливается положительный тепловой баланс, начинается активная вегетация.

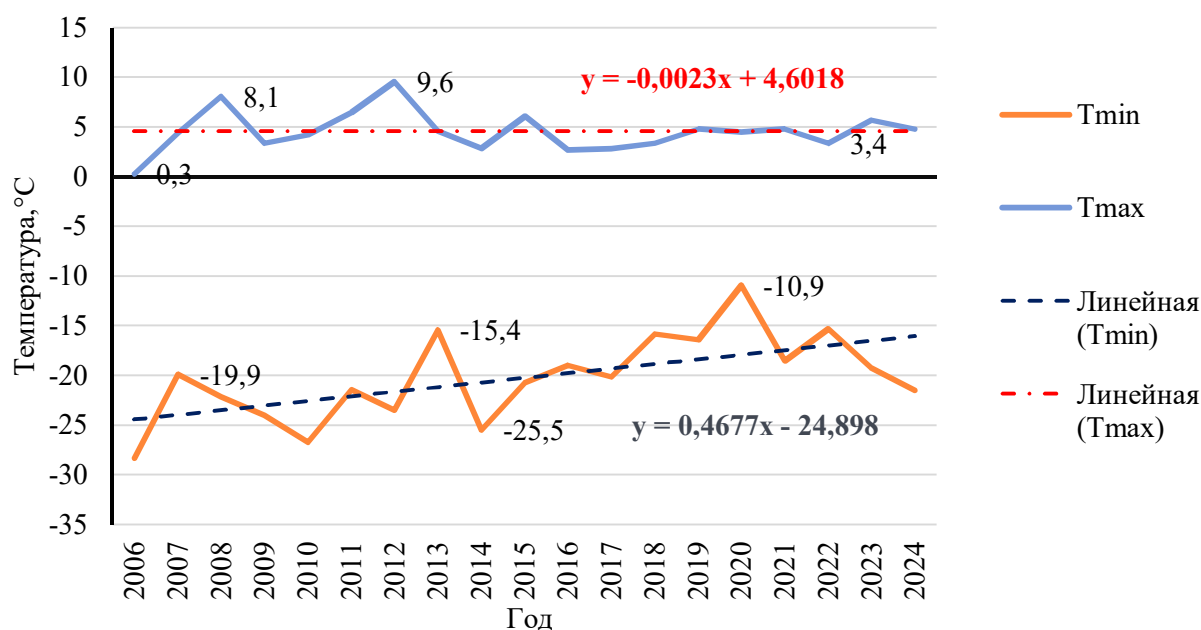


Рис. 4. Максимальные и минимальные температуры воздуха в зимний период

Средняя продолжительность весеннего сезона составляет 61 день, с колебаниями длительности от 33 дней (2013, 2018 гг.) до 81 дня в 2023 году и 87 дней в 2016 г. Средняя многолетняя дата начала сезона приходится на 71 день, что соответствует 12 марта. Дата начала весны также колеблется в широких пределах от 45 дня года (14 февраля в 2016 году), до 87 дня – 28 марта в 2013 г., т.е. амплитуда начала весны составляет 32 дня. Средняя многолетняя дата окончания весны приходится на 13 мая (133 день) с колебаниями от 120 дня – 30 апреля в 2012 и в 2013 до 148 дня – 28 мая 2022 г., с размахом даты окончания сезона 28 дней.

Анализ динамики продолжительности весеннего сезона на метеостанции города Воронежа, представленный на рис. 5, позволил увидеть, что имеется тенденция к увеличению продолжительности весны на 6 дней / за 10 лет, о чем свидетельствует значение углового коэффициента линейного тренда равного 0,61.

Средняя многолетняя сумма температур за весенний сезон составляет 496,1°C и имеет разброс от 282,8°C (2013 г.) до 818,3°C (2024 г.), т.е. размах составил 535,5 °C. Выявлена динамика роста суммы температур за сезон равная 11,3 °C/год, определяемая величиной углового коэффициента тренда. Экстремальные значения максимальной температуры за исследуемый период достигали значений величины 18,9 °C (29.04.2015), а минимальная температура -2,9 °C наблюдалась дважды 23.03.2009 и 23.03.2015г., что свидетельствует об усилении меридиональных процессов в атмосфере. Величина тренда максимальной температуры составила 0,1 °C/год, а величина тренда минимальной температуры -0,13 °C/год. Низкие отрицательные значения минимальной температуры в конце марта усиливают экологические риски на территории, т.к. появляются в начале этапа вегетации растений.

Летний сезон в г. Воронеже наступает тогда, когда среднесуточная температура воздуха превышает 15 °C. Лето в Воронеже – это период устойчивого тёплого погодного режима. Климат формируется под влиянием тропических и умеренных континентальных воздушных масс, что приводит к жаркой, преимущественно сухой погоде. При этом возможны кратковременные циклоны с ливнями и грозами. Атмосферное давление относительно стабильно, количество солнечных часов велико. Среднесуточная температура в июле достигает максимума (+20...+23 °C). Основные характеристики термического режима летнего сезона представлены в табл. 2.

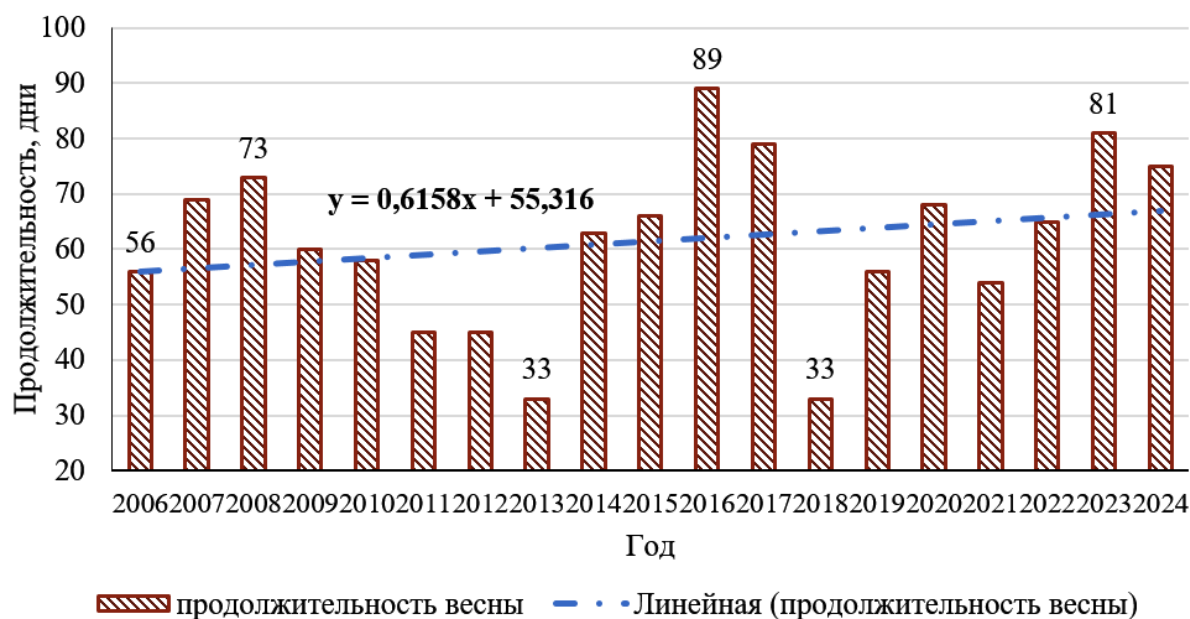


Рис. 5. Динамика продолжительности весеннего сезона на метеостанции городе Воронеже в период с 2006 по 2024 гг.

Таблица 2

Основные характеристики термического режима климата Воронежа в летний период

Параметры	Продолжительность сезона			Термический режим сезона		
	начало, день (дата)	конец, день (дата)	продолжи- тельность, дни	сумма Т, °С	экстремумы	
					max, °С (дата)	min, °С (дата)
минимальный	120 (30.04.2012, 30.04.2013)	246 (03.09.2013)	103 (2022)	2147,9	26,6 (15.08.2006)	6,7 (6.05.2014)
максимальный	148 (28.05.2022)	271 (27.09.2021, 27.09.2024)	148 (2018)	2952,6	31,4 (10.08.2010)	14,0 (1.08.2019)
среднее значение	133 (13 мая)	259	126	2523,8	28,1	10,4
размах	28	15	45	804,7	2,8	7,3
уравнение тренда	$0,5509x + 127,39$	$0,4281x + 254,4$	$-0,0649x + 127,02$	$7,5526x + 2448,3$	$-0,04x + 28,532$	$0,1437x + 8,9579$

Наиболее раннее наступление лета наблюдалось в 2012 и 2013 гг. на 120 день (30.04.2012, 30.04.2013), а более позднее лето наступило на 148 день (28.05.2022г). Раннее окончание лета наблюдалось в 2013 году на 246 день (03.09.2013), а наиболее позднее окончание лета наблюдалось дважды в 2021 и 2024 гг. на 271 день (27.09.2021, 27.09.2024). Следует отметить, что дата окончания более стабильна, чем дата его начала. Размах даты окончания сезона составляет 15 суток, против 28 дней для даты начала летнего сезона. При этом хочется отметить смещение вправо даты начала и окончания сезона на 0.5 дня/год, о чем свидетельствуют значения углового коэффициента тренда.

Средняя продолжительность летнего сезона составляет 126 дней с колебаниями длительности в 45 суток. Наиболее короткое лето (103 суток) наблюдалось в 2022 году, а наиболее продолжительное в 2018 году – 148 суток.

По данным, представленным на рис. 6 можно сделать вывод о том, что за период с 2006 по 2024 гг. наблюдается незначительное уменьшение продолжительности летнего сезона на -0,6 день/10 лет, т.е. продолжительность лета практически стабильна.

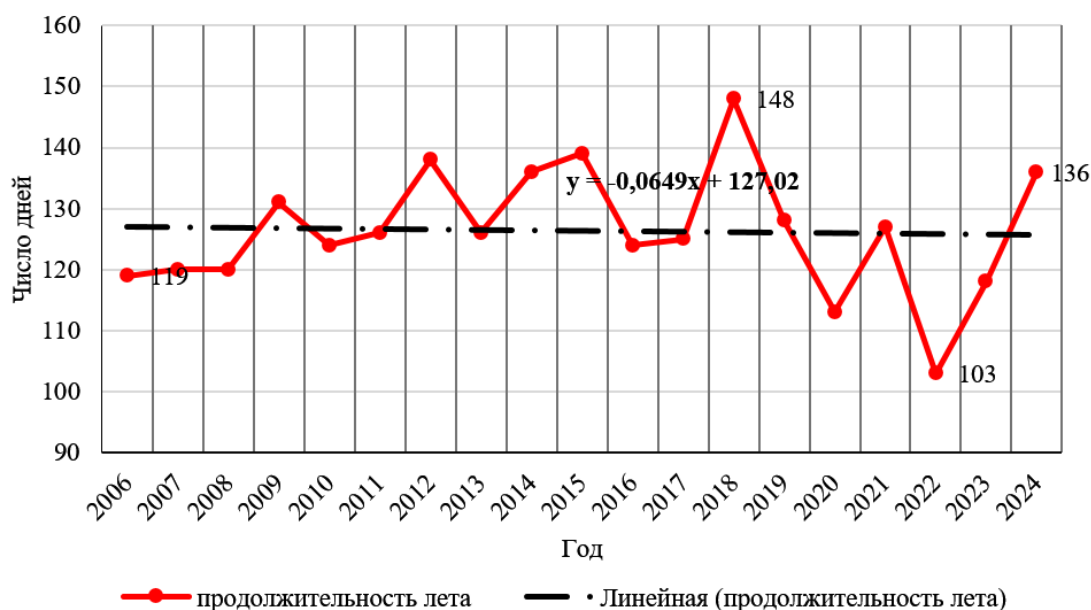


Рис. 6. Динамика продолжительности летнего сезона на метеостанции городе Воронеже в период с 2006 по 2024 гг.

Из анализа рис.6 видно, что начиная с 2018 года наблюдаются резкие скачки продолжительности летнего сезона. Данный факт свидетельствует о разбалансировании в климатической системе атмосферы и усилении динамических меридиональных процессов.

В ходе исследования суммы температур воздуха на метеостанции города Воронежа за летний сезон (табл. 2) установлено, что наблюдается интенсивный рост температуры воздуха на $7,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$, о чем свидетельствует величина углового коэффициента тренда. Средние значения суммы температур за летний сезон составляют $2523,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ и колеблются в широких пределах – $804,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, от минимума $2182,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ наблюдаемого в 2022 году до максимума $2952,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 2018 году.

Анализируя температурные минимумы и максимумы летнего сезона по уравнению трендов, представленные в табл. 2, можно отметить, что отмечается увеличение минимальной температуры воздуха ($0,14\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$) и существенно незначительное уменьшение максимальной температуры ($-0,04\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$). Значения максимальных экстремумов температуры более стабильны, по сравнению с минимальной температурой, о чем свидетельствует величина размаха $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ для экстремумов максимальной температуры и $7,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ – для экстремумов минимальной температуры.

Осень начинается с термического спада ниже $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ до достижения устойчивого значения температуры $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. В сентябре, ещё сохраняется положительный тепловой баланс, но уже наблюдается снижение солнечной инсоляции. В октябре усиливаются вторжения арктического воздуха, возрастает количество облачности, осадков становится больше. Ноябрь – переходный месяц к зиме: формируется устойчивый минусовой температурный режим, возможны первые снежные покровы. Климатическая осень в Воронеже сопровождается повышенной циклональной активностью и резкими сменами погоды.

В табл. 3 отображены данные за осенний период, а именно начало и конец сезона, сумма температур, максимальные и минимальные температуры и его продолжительность.

Средняя дата наступления осени, за исследуемый период, приходится на 259 день (16 сентября) и имеет размах 25 дней, а средняя дата окончания осени – 327 день (23 ноября) с размахом 52 суток. Наиболее ранняя осень наблюдалась в 2013 году 246 день – 03.09.2013 г. Наиболее позднее начало осени наблюдалось в 271 день, дважды за период наблюдения – 28.09.2020 и 28.09.2024 г.

Таблица 3

**Основные характеристики термического
режима климата Воронежа в осенний период**

параметры	Продолжительность сезона			Термический режим сезона		
	начало, день (дата)	конец, день (дата)	продолжи- тельность, дни	сумма T, °C	экстремумы	
					max, °C (дата)	min, °C (дата)
мини- мальный	246 (03.09.2013)	313 (09.11.2014)	45 (2018)	313,8 (2017)	12,2 (20.09.2021)	-7,9 (28.11.2017)
макси- мальный	271 (28.09.2020; 28.09.2024)	365 (31.12.2019; 31.12.2024)	110 (2019)	681,4 (2013)	19,3 (27.09.2010; 15.09.2011)	1,6 (4.11.2007)
среднее значение	259 (16 сентября)	327 (23 ноября)	75	491,6		
размах	25	52	65	367,6	7,1	9,5
уравнение тренда	$0,4281x + 254,4$	$1,7421x + 309,79$	$-0,4018x + 78,807$	$2,5021x + 466,58$	$-0,1304x + 17,256$	$-0,0118x - 1,7719$

Средняя продолжительность осеннего сезона составляет 75 дней, с максимумом в 2019 году – 110 суток и минимумом в 2018 году – 45 суток. В результате амплитуда продолжительности осеннего сезона составила 65 суток. Из анализа уравнения тренда ($y = -0,4018x + 78,807$) видно, что наблюдается уменьшение продолжительности периода на 4 дня /10 лет. Анализ временного хода динамики продолжительности осеннего сезона (рис. 7), позволил выявить наличие отрицательной автокорреляции с резкими скачками роста и падения.

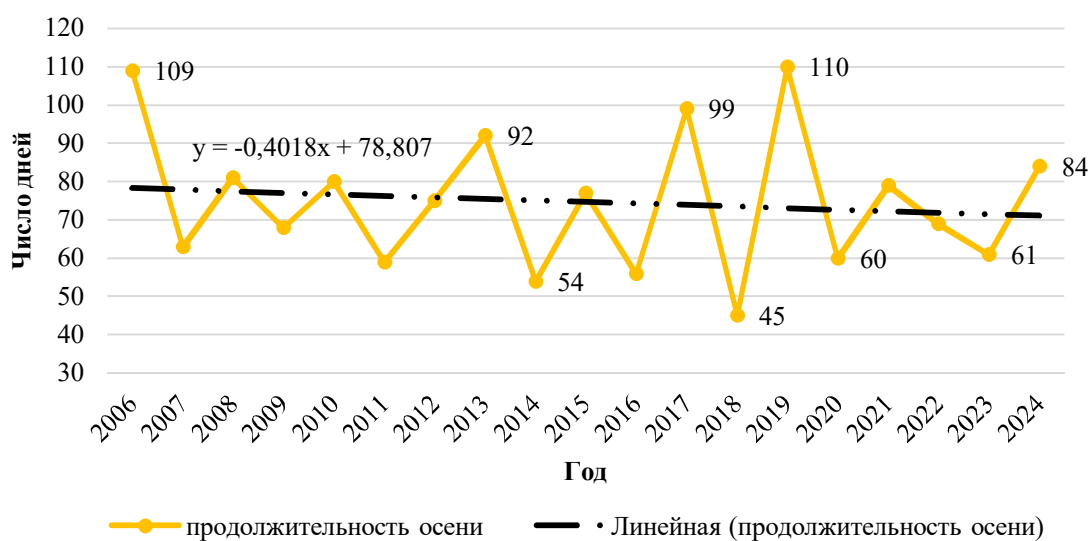


Рис. 7. Динамика продолжительности осеннего сезона на метеостанции
в городе Воронеже в период с 2006 по 2024 гг.

Энергетический потенциал осени аналогичен потенциалу весны, средняя сумма температур за сезон также как и весной, составляет 491,6 °C. При этом наблюдается более стабильный временной ход. Размах экстремальных сумм температур составляет 367,6 °C, что существенно ниже весенних значений. Осенью наблюдаются существенные колебания экстремальных значений фактической температуры от 19,3 °C (27.09.2010; 15.09.2011) до -7,9 °C (28.11.2017).

Заключение.

На основе проведенного комплексного исследования термического режима г. Воронежа в различные сезоны по наблюдениям за 2006...2024 годы установлено влияние глобального повышения температуры на температурный режим города.

Основные изменения установлены для зимнего периода. Наблюдается смещение дат начала и окончания зимнего периода и уменьшение его продолжительности, а также рост суммарной температуры за сезон.

Для летнего сезона установлена тенденция к уменьшению продолжительности (на - 0,6 день / 10 лет), о чем свидетельствует угловой коэффициент тренда. В переходные сезоны года существенных изменений термического режима не наблюдается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ревич, Б. А.** Основы оценки воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье человека. Пособие по региональной экологической политике / Б. А. Ревич, С. Л. Авалиани, П. И. Тихонова. – Москва: Акрополь, ЦЭПР. – 2004. – 268 с.
2. **Mahler, H.** The meaning of 'Health for All by the Year 2000. / H. Mahler // World Health Forum. – 1981. – No. 2 – Pp. 5 – 22.
3. **Акимов, Е. Л.** Разработка прогностического алгоритма загрязнения атмосферы канцерогенами при различных метеорологических условиях. / Е. Л. Акимов, Л. М. Акимов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 2(29) – С. 92-102. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.29.2.010.
4. **Ревич, Б. А.** Изменение здоровья населения России в условиях меняющегося климата / Б. А. Ревич // Проблемы прогнозирования. – 2003. – № 3. – С. 5-14.
5. **Parry, M. L.** Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group 11 to the Fourth Assessment Report of IPCC / M.L. Parry et al. // Cambridge. – UK: Cambridge University Press, 2007.
6. **Добрынина, И. В.** Медико-географическая оценка климатической комфортности территории Воронежской области / И. В. Добрынина, Л. М. Акимов, С. А. Куролап // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2013. – № 1. – С. 120-128.
7. **Акимов, Е. Л.** Анализ биоклиматических рисков на территории ЦЧР / Е. Л. Акимов, С. А. Куролап, Л. М. Акимов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2017. – № 2. – С. 102-109.
8. **Акимов, Л. М.** Пространственное распределение метеорологических параметров, влияющих на жизнедеятельность человека на территории Центрального Черноземья / Л. М. Акимов, Е. Л. Акимов // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2014. – № 2. – С. 17-24.
9. **Бокша, В. Г.** Медицинская климатология и климатотерапия / В. Г. Бокша, Б. В. Богуцкий. – Киев: Здоровье. – 1980. – Т. 2. – 62 с.
10. **Исаев, А. А.** Экологическая климатология / А. А. Исаев. – Москва: Научный мир. – 2003. – 472 с.
11. **Матюхин, В. А.** Комплексная количественная оценка воздействия факторов внешней среды на организм человека / В. А. Матюхин, Э. Ю. Кушнеренко // Климат и здоровье человека: труды Международного симпозиума. – Москва, 1998. – Т. 2. – С. 41-46.

Поступила в редакцию 2 сентября 2025

ASSESSMENT OF TRENDS IN THE CHANGE OF THE THERMAL CLIMATE REGIME OF THE CITY OF VORONEZH

L. M. Akimov, E. L. Akimov

Leonid Musaminovich Akimov, Cand. Sc. (Geogr.), Associate Professor, Head of the Department of Nature Management, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russia, tel.: +7(951)850-49-82, +7(473) 266-56-54; e-mail: ak163@bk.ru

Evgeniy Leonidovich Akimov, Cand. Sc. (Geogr.), Associate Professor at the Department of Environmental Management, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473) 266-56-54; e-mail: akimovvsu@gmail.com

The purpose of the study is to conduct a comprehensive assessment of the thermal regime of the climatic seasons of the city of Voronezh against the background of global temperature rise. The research materials and methods are based on the analysis of daily observation data from stationary atmospheric observation posts in the city of Voronezh. Graphoanalytical and probabilistic methods of analysis were used to assess the relationship between the meteorological parameters of the atmosphere and the comfort of the environment. The results of the study were the establishment of temporal patterns of the distribution of the thermal regime in different seasons of the year. We determined its main characteristics and revealed the dynamics and the nature of the direction of changes.

Keywords: temperature distribution; climate; thermal regime; weather; season.

REFERENCES

1. **Revich B. A., Avaliani S. L., Tikhonova P. I.** *Fundamentals of assessing the impact of the polluted environment on human health. Handbook on regional environmental policy.* Moscow, Akropolis. CEPR. 2004. 268 p. (in Russian)
2. **Mahler H.** *The meaning of 'Health for All by the Year 2000.* World Health Forum. 1981. No. 2. Pp. 5-22.
3. **Akimov E. L., Akimov L. M.** *Development of a predictive algorithm for atmospheric pollution by carcinogens under various meteorological conditions.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 2(29). Pp. 92-102. DOI 10.36622/2541-9110.2024.29.2.010. (in Russian)
4. **Revich B. A.** *Changing the health of the Russian population in a changing climate.* Problems of forecasting. 2003. No. 3. Pp. 5-14. (in Russian)
5. **Parry M.L. et al.** *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group 11 to the Fourth Assessment Report of IPCC.* Cambridge. UK. Cambridge University Press. 2007.
6. **Dobrynina I. V., Akimov L.M., Kurolap S.A.** *Medical and geographical assessment of the climatic comfort of the territory of the Voronezh region.* Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology. 2013. No. 1. Pp. 120-128. (in Russian)
7. **Akimov E.L. Kurolap S.A., Akimov L.M.** *Analysis of bioclimatic risks in the territory of the Central Asian Republic.* Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology. 2017. No. 2. Pp. 102-109. (in Russian)
8. **Akimov L. M., Akimov E. L.** *Spatial distribution of meteorological parameters affecting human activity in the Central Chernozem region.* Bulletin of Voronezh State University. Ser. Geography. Geoecology. 2014. No. 2. Pp. 17-24. (in Russian)
9. **Boksha V. G. Bogutsky B. V.** *Medical climatology and climatotherapy.* Kiev, Zdorovye. 1980. Vol. 2. 62 p. (in Russian)
10. **Isaev A. A.** *Ecological climatology.* Moscow, Scientific World. 2003. 472 p. (in Russian)

11. **Matyukhin V. A., Kushnerenko E. Y.** *Complex quantitative assessment of the impact of environmental factors on the human body*. Climate and human health: proceedings of the International Symposium. Moscow. 1998. Vol. 2. Pp. 41-46. (in Russian)

Received 2 September 2025

Для цитирования:

Акимов, Л. М. Оценка тенденций изменения термического режима климата города Воронежа / Л. М. Акимов, Е. Л. Акимов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 3(34). – С. 113-124. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.012.

FOR CITATION:

Akimov L. M., Akimov E. L. *Assessment of trends in the change of the thermal climate regime of the city of Voronezh*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 3(34). Pp. 113-124. DOI 10.36622/2541-9110.2025.34.3.012. (in Russian)

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ **WRITING RULES AND GUIDELINE**

Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства. Периодичность издания – 4 раза в год.

Издание включено в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук с 22.12.2020 г.

Статьи в журнале публикуются бесплатно.

Осуществляется подписка на журнал «Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура». Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» **81025**. Физические лица могут оформить подписку на сайте <https://www.pressa-rf.ru/>

Отдельные экземпляры журнала можно приобрести в редакции по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ВГТУ, кафедра жилищно-коммунального хозяйства, каб. 1321.

О наличии необходимого номера можно узнать по телефону +7(473)271-28-92 или по e-mail: vstu.gkh@gmail.com.

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).



ISSN 2541-9110



9 772541 911039