

ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 1(32), 2025

Воронежский государственный технический университет



*Строительные конструкции,
здания и сооружения*

*Градостроительство.
Реконструкция, реставрация
и благоустройство*

*Инженерные системы
и коммуникации*

*Экология и безопасность
городской среды*

*Экономика и организация
строительства*

*Дорожно-транспортное
хозяйство
и строительная техника*

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО
и коммунальная инфраструктура**

№ 1(32), 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)

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

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

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

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

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

Дизайн обложки: Якубенко А. В. *Фото обложки:* https://t.me/VSTU_today

Редактор перевода: Козлова В. В.

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» 81025.

Дата выхода в свет 31.03.2025. Усл. печ. л. 14,6. Формат 60×84/8. Тираж 36 экз. Заказ № 79

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/VSTU_today

Translation editor: V. V. Kozlova

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

Date of publication 31.03.2025. Conventional printed sheets 14,6. Format 60×84/8. Circulation 36 copies. Order 79

Registration certificate ПИ № ФС 77 – 69631 02.05.2017

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

Free price

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

<i>Артыщенко С. В., Панфилов Д. В., Чигарев А. Г., Дмитриев И. С.</i> Инновационные технологии анкерного крепления с применением фотополимерных материалов.....	9
<i>Шмелев Г. Д., Ишков А. Н., Кононова М. С.</i> Учет деградации материалов при проведении поверочных расчётов строительных конструкций.....	20
<i>Старцев В. Н., Николенко С. Д., Жерлыкина М. Н.</i> Оценка влияния работоспособности фундаментов на надежность строительных конструкций зданий.....	30

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

<i>Кузьмина А. А., Бурлуцкий Д. С., Колосова Н. В.</i> Повышение производительности технологического участка магистрального нефтепровода.....	39
<i>Серигов Г. С., Серигова И. А.</i> Совершенствование процесса автоматизированного мониторинга магистральных трубопроводных систем.....	45
<i>Салиева А. С., Аралов Е. С., Гармонов К. В.</i> Методы расчета и контроля показателей надежности магистральных трубопроводов.....	55
<i>Лобанов Д. В., Звенигородский И. И., Сафонов С. А., Соловьев С. А.</i> Обоснование необходимости расчета воздухораспределителей на основе моделирования воздушных потоков.....	63
<i>Кумицкий Б. М., Плаксина Е. В., Калинина А. И.</i> Гидродинамическое моделирование процесса промывки вертикальных трубопроводов...	75
<i>Пурусова И. Ю.</i> Влияние состава подземных вод на фильтры водозаборных скважин.....	84

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО

<i>Коростелева Н. В., Полонский Д. В.</i> Обоснование создания многофункциональных зон дорожного сервиса на территории Волгоградской области.....	89
---	----

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

<i>Середа Т. Г., Костарев С. Н.</i> Определение нормативов накопления твердых коммунальных отходов от объектов общественного назначения на примере Пермского края.....	98
<i>Соколов Д. А., Головина Е. И., Ашихмина Т. В.</i> Мониторинг акустического воздействия от транспорта с использованием гражданских БПЛА.....	106

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

<i>Артыщенко С. В., Колосов А. И., Беленко И. В., Фефелова К. Э.</i> Концепция бережливого производства и управления, анализ примеров ее реализации...112	112
--	-----

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

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

<i>Artyshchenko S. V., Panfilov D. V., Tchigarev A. G., Dmitriev I. S.</i>	
Innovative anchor fastening technologies using photopolymer materials.....	9
<i>Shmelev G. D., Ishkov A. N., Kononova M. S.</i>	
Consideration of materials degradation during verification calculations of building structures.....	20
<i>Startsev V. N., Nikolenko S. D., Zherlykina M. N.</i>	
Assessment of the impact of foundation operability on the reliability of building structures.....	30

ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES

<i>Kuzmina A. A., Burlutsky D. S., Kolosova N. V.</i>	
Increasing of the productivity of the technological section in the main oil pipeline.....	39
<i>Serikov G. S., Serikova I. A.</i>	
Improving the process of automated monitoring of main pipeline systems.....	45
<i>Salieva A. S., Aralov E. S., Garmonov K. V.</i>	
Methods of calculation and control of reliability indicators in main pipelines.....	55
<i>Lobanov D. V., Zvenigorodsky I. I., Safonov S. A., Solovyov S. A.</i>	
Justification of the need for calculation of air distributors based on air flow modeling.....	63
<i>Kumitsky B. M., Plaksina E. V., Kalinina A. I.</i>	
Hydrodynamic modeling of the vertical pipeline flushing process.....	75
<i>Purusova I. Yu.</i>	
Influence of underground water composition on filters of water intake wells.....	84

URBAN PLANNING, RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

<i>Korosteleva N. V., Polonskiy D. V.</i>	
Relevance of creating multifunctional road service zones in Volgograd region.....	89

ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

<i>Sereda T. G., Kostarev S. N.</i>	
Determination of standards for the accumulation of municipal solid waste from public facilities on the example of the Perm region.....	98
<i>Sokolov D. A., Golovina E. I., Ashikhmina T. V.</i>	
Monitoring of acoustic effects from transport using civilian UAVs.....	106

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

<i>Artyshchenko S. V., Kolosov A. I., Belenko I. V., Fefelova K. E.</i>	
Concept of lean manufacturing and management, analysis of its implementation.....	112

WRITING RULES AND GUIDELINES.....	125
--	------------

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

DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.001

УДК 624.078.7

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С. В. Артыщенко, Д. В. Панфилов, А. Г. Чигарев, И. С. Дмитриев

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

Панфилов Дмитрий Вячеславович, канд. техн. наук, заведующий кафедрой строительных конструкций оснований и фундаментов имени профессора Ю. М. Борисова, декан строительного факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-53-84; e-mail: panfilov_dv@vgasu.vrn.ru

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

Дмитриев Иван Сергеевич, студент кафедры металлических и деревянных конструкций, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(951)865-68-57; e-mail: ivan.dmitriev10@yandex.ru

Рассмотрены актуальные вопросы, связанные с областью анкерных креплений. Приведены примеры инновационных способов моделирования поведения такого крепления. Обсуждается проблема полимеризации химических анкеров в различных климатических условиях и температурных диапазонах, описывается предложенное авторами комплексное решение, включающее применение фотополимерных материалов. Приведены расчетные зависимости скорости полимеризации от типов излучателей. Показано, что предложенный авторами способ крепления химических анкеров способен значительно расширить температурный диапазон их применения.

Ключевые слова: химический анкер; фотополимеризация; фотополимерные материалы; интенсивность излучения; скорость реакции.

В настоящее время развитие анкеров стало наиболее приоритетной задачей в области монтажа конструкций, технический прогресс и появление новых материалов позволили создать устройства с большой универсальностью и при индивидуальном подходе к решению задачи выбрать наиболее подходящий анкер.

В зависимости от типа решаемой задачи анкерные крепежные устройства могут различаться:

- ✓ по способу крепления в конструкции;
- ✓ по материалам, из которых состоят;
- ✓ по контролю фиксации устройства в проектном положении [1].

Рассматривая основные способы установки анкерного устройства, выделяют механические анкеры, которые удерживают стержень анкера силами трениями или упора; и химические, представляющие компонентную систему из клеевого состава, обеспечивающего фиксированное положение анкерного болта силами сцепления между компонентной смесью и материалом конструкции.

Проводятся исследования по поиску более эффективного применения крепежных устройств, использования дополнительных элементов с целью расширения диапазона вы-

полняемых задач. В работе [2] приведены результаты испытания на выдергивание механических анкеров, закрепленных в бетонных и железобетонных элементах различной толщины. Было оценено влияние толщины элемента, головки анкерного болта и ортогонально расположенной арматуры на прочность при растяжении и эксплуатационные характеристики анкеров. Экспериментальные результаты показали, что увеличение толщины элемента и/или использование ортогональной поверхностной арматуры приводит к увеличению несущей способности и пластичности анкерного крепления, сопротивлению разрыву при растяжении с незначительным снижением жесткости.

Химические анкеры появились в середине XX века, когда проводился поиск новых способов крепления для использования в сложных условиях, где традиционные методы попросту не могли быть применимы. В 80-х и 90-х годах прошлого века химические анкеры стали еще более совершенными, появились капсульные и инъекционные варианты, которые адаптируются под текущие задачи и в настоящее время [3].

Химические анкеры являются более перспективным типом крепления по сравнению с механическими. Связано это с рядом их преимуществ: высокая несущая способность и надежность, широкая область применения, простота монтажа, герметичность [4]. Проводятся исследования по повышению несущей способности и изучению поведенческой модели работы подобных анкеров в различных ситуациях. В исследовании [5] рассматриваются анкеры, усиленные арматурой, которая устанавливается в шпур после застывания бетона. Исследование проводилось как для клеевых, так и для распорных анкеров. Причем наиболее эффективное расположение стержней было вертикальным, что значительно повышало прочность на разрыв анкерных болтов. При использовании такого способа предотвращается возможность разрушения бетона, что может стать целесообразным и практичным методом усиления систем креплений.

В статье [6] представлены результаты обширных численных и экспериментальных исследований, проведенных для создания поведенческой модели, которая послужит основой для разработки проектных решений для анкерных креплений в бетоне с использованием клеевых анкеров. Эти типы анкерных систем широко используются повсеместно. Подробно рассмотрены ситуации при положении анкера вблизи свободного края, а также проведены сопутствующие испытания одиночных анкеров. Предложенная поведенческая модель разрушения анкерного соединения очень хорошо согласуется с результатами множества групповых исследований, ссылки на которые содержатся в работе [6].

Исследования по эффективности добавления в бетон пропиленовых и стальных волокон с их влиянием на механизм разрушения анкерного соединения показали [7], что химический анкер работает на прочность бетона при растяжении с тем условием, что адгезия смолы анкера будет выше прочности бетона на растяжение. Установлено, что добавление обоих типов волокон повышает максимально допустимую нагрузку на анкер и прочность образцов по сравнению с обычным бетоном без добавок, причем особой разницы между случаями, соответствующими двум типам волокон не было, здесь сказывается сам эффект от фибры.

В экспериментальном исследовании [8] была поставлена задача обеспечения минимальной глубины анкерной химического анкера в натуральном камне. Исследовались анкерные составы на основе эпоксидной смолы с их закреплением в базальте, песчанике и известняке. Также оценивалась надежность теоретических положений, которые применимы к бетону, для прогнозирования поведения анкерного устройства в случае его разрушения. В случае близости характеристик камня к бетону теоретический подход остается верным, в ином случае следует выполнять большую глубину заделки из-за неточности прогноза ввиду непредсказуемых физических и механических явлений.

Были также проведены обширные исследования [9, 10] по работе анкерного крепления, как химического, так и механического, в кирпичной кладке, определены зависимости прочности такого соединения от марки, положения и др. особенностей кирпичной кладки.

При поисках различного применения химических анкеров и улучшению его эксплуатационных свойств остро стоит проблема влияния температуры на работу анкерного устройства.

Влияние различных температур на химические анкеры подробно описано в работе [11]. Еще на стадии хранения химического анкера при несоблюдении температурного режима возможна деградация клеевого состава при повышении температуры и кристаллизация при допущении отрицательных температур. На стадии непосредственного монтажа в строительной конструкции повышение температурного режима грозит размягчаемостью состава химического анкера, снижение же температуры (ниже 4 °С...5 °С) может повлечь снижение адгезии между клеевым составом и материалом конструкции. Во время эксплуатации химические анкеры показывают хорошие прочностные характеристики, как при отрицательных, так и при температурах, достигающих 50 °С...70 °С.

Испытания, в ходе которого выявлялись прочностные характеристики химических анкеров, затвердевающих при различных температурах, показали, что наиболее хорошо себя показывают анкерные системы при температурном режиме 4 °С...25 °С [11]. С увеличением температуры скорость застывания состава заметно возрастает, в ходе испытания выявлена максимально возможная температура с наименьшими прочностными потерями – она составляет порядка 40 °С. Здесь выделяют два вида температурного воздействия: краткосрочное, вызванное повышением температуры ввиду воздействия солнца, близости оборудования, смены дня и ночи; и долгосрочное, где температура сохраняется на протяжении недель или даже месяцев. Именно долгосрочное тепловое воздействие является определяющим при выборе компонентов химических анкеров.

Также были проведены исследования [12] в области изучения особенностей разрушения крепежной системы химического анкера при воздействии пожара. Наибольшее влияние оказывает тип клеевого состава. Для химического анкера на основе эпоксидной смолы прочность снизилась до 1/10 при расчетной температуре 280 °С. Смолы уретанового типа – до 1/5 при температуре около 200 °С. Неорганические химические анкеры проявили себя лучше – снижение прочности до 1/3 при температуре 270 °С. Результаты этого исследования можно использовать для прогнозирования прочности соединения при испытании на нагрев с приложением нагрузки в диапазоне температур от 50 °С до 100 °С.

Как видно из результатов представленных исследований, при высоких температурах химические анкеры работают по-разному в зависимости от применяемого клеевого состава, но абсолютное большинство составов начинает процесс кристаллизации при отрицательных температурах.

Применение фотополимерных материалов.

В последнее время набирает популярность применение аддитивных технологий в строительстве, например, 3D печать. Известны работы [13, 14], в которых в результате испытаний были подобраны различные составы с применением фибры, доменного шлака и других отходов металлургической промышленности, что позволяет снизить себестоимость раствора для строительной печати. В исследовании [15] представлен состав строительной смеси с применением аддитивных технологий для строительства в зимнее время. Предложена замена вяжущего в виде цемента на доменный шлак с добавлением противоморозных добавок, что может в будущем активно использоваться в строительной печати при отрицательных температурах.

Как известно, в аддитивных технологиях активно применяются фотополимерные материалы, в которых реакция полимеризации идет за счёт ультрафиолетового излучения. В частности, эта технология активно применяется в стоматологии и косметологии. При пломбировании в современном мире отдается предпочтение фотополимерным пломбам, как наиболее надежным. Так в работе [16] авторы предложили состав отечественного наноуплотненного фотополимерного состава, который улучшит качество пломб и не будет уступать по свойствам альтернативным аналогам.

Подобные исследования представлены в работе [17] со сравнительным анализом современных нанокompозитов и других композиционных материалов. Основной проблемой применения подобных материалов является ограниченность в допустимой частоте волны излучателя ввиду опасности непосредственного влияния на человека, чего в строительной сфере нет.

Из отечественных компаний, занимающихся внедрением фотополимерных материалов в инженерную и строительную сферу является ООО «ЛУЧ», которая разработала состав гелиополимера с использованием фотополимерной пасты, основанной на одновременном использовании светоотверждаемых материалов и аддитивных технологий при строительной печати. Также компания разработала фотополимерные рулоны с защитой трубопроводов и резервуаров, и соответственно, собственную установку для создания фотополимерных изделий [18].

Инновационный способ крепления химического анкера.

Главная особенность применения фотополимерных материалов в строительной сфере – возможность протекания реакции полимеризации даже при отрицательных температурах. Это существенно расширяет температурный диапазон применимости химических анкеров, а также увеличивает скорость монтажа крепления.

Авторами настоящей статьи запатентован способ крепления фотополимерного химического анкера [19]. На основе анкера с химическим закрепителем [20], главным недостатком которого является невозможность полимеризации при отрицательных температурах и длительное время застывания состава, разработан способ крепления с устранением недостатков, присущих прототипу.

В качестве фотополимерного композита авторы предлагают готовые двухкомпонентные композиции Tetric N-ceram Bleach «Ivoclar Vivadent» (материал А) и Filtek Z250 A1 «3М» (материал Б) [21]. Обоснованность такого выбора заключается в процентном содержании фотоинициаторов, входящих в состав композитов, которые и определяют скорость распада молекул на свободные радикалы.

Для запуска реакции фотополимеризации применяется излучатель Demi Kerr Ultra. Исходя из данных таблицы, глубина проникновения излучающего света достигает 5...6 мм, а сам процесс фотополимеризации займет 10...15 секунд, по данным [21]. Для излучения применяются светодиоды высокой мощности, интенсивность излучения составляет 10 мВт/см², а длина волны – 460 нм.

Зависимость глубины полимеризации материалов от типа излучателя [21]

Наименование материала	Глубина полимеризации при различных типах фотополимеризаторов*					
	Demetron Optilux Kerr, 400 Вт		Demi Kerr, 1200-1300 Вт		Bluephase G2 Ivoclar Vivadent, 1100 Вт	
	без нагрева	с нагревом	без нагрева	с нагревом	без нагрева	с нагревом
Tetric N-Ceram A1 "Ivoclar Vivadent"	4,478±0,250	4,705±0,168	5,232±0,212	5,412±0,240	5,045±0,235	5,172±0,244
Estelite Quick A1 "Tokuyama"	4,304±0,158	4,566±0,189	4,895±0,164	5,224±0,180	4,710±0,220	4,972±0,235
Tetric N-ceram Bleach Ivoclar Vivadent	4,837±0,160	4,810±0,230	5,571±0,197	6,237±0,230	5,417±0,205	5,862±0,268
Filtek Z250 A1 "3M"	5,342±0,150	5,650±0,110	6,191±0,156	6,537±0,245	5,887±0,210	6,404±0,245
Composite A1 "Prime Dental"	4,624±0,175	5,216±0,124	4,583±0,179	5,441±0,198	4,703±0,240	5,133±0,224
Tetric N-Ceram A3.5 Ivoclar Vivadent	3,245±0,127	3,702±0,195	3,895±0,210	4,150±0,180	3,845±0,156	4,148±0,210
Herculite XRV ultra A3.5 "Kerr"	3,030±0,135	3,124±0,230	3,317±0,188	3,345±0,135	3,245±0,148	3,428±0,185

Примечание. * – время полимеризации для Demetron Optilux Kerr составляет 20с, для Demi Kerr, Bluephase G2 Ivoclar Vivadent – 10 с.

Реакция фотополимеризации зависит главным образом от интенсивности освещения излучателя и от температуры окружающей среды, скорость роста и фотоиницирования пропорциональна квадратному корню интенсивности облучателя [22].

Скорость реакции роста увеличивается с повышением температуры, скорость же реакции инициирования остается неизменной, что повышает молекулярный вес получаемого полимера, поэтому рациональный выбор технических условий определяет конечные свойства получаемого фотополимера.

Исходя из вышесказанного, можно рассчитать время фотополимеризации компози- тов при использовании облучателя под действием светодиодов с той же длиной волны, но другой интенсивности света. Проникающий характер излучения, как известно, зависит именно от частоты света, которая не меняется, следовательно:

$$T_2 = T_1 \times \frac{v_1}{v_2} = T_1 \sqrt{\frac{I_1}{I_2}} = T_1 \sqrt{\frac{1000}{10}} = 10 \times T_1, \quad (1)$$

где v_1 – скорость полимеризации при интенсивности излучения $I_1 = 1000$ мВт/см²; v_2 – скорость полимеризации при интенсивности излучения $I_2 = 10$ мВт/см²; T_1 – время реакции с использованием Demi Kerr Ultra; T_2 – время реакции с применением светодиодов.

Таким образом, $T_2 = T_1 \times 10 = 10 \text{ с} \times 10 = 100 \text{ с} = 1,5 \text{ мин}$.

Предложенный авторами способ заключается во введении в отверстие шпура герметизатора с клапаном (рис. 1), с контролем подаваемой фотополимерной композиции, далее в шпур вводится сам иньектор, в который под давлением направляется смесь материала А и материала Б.

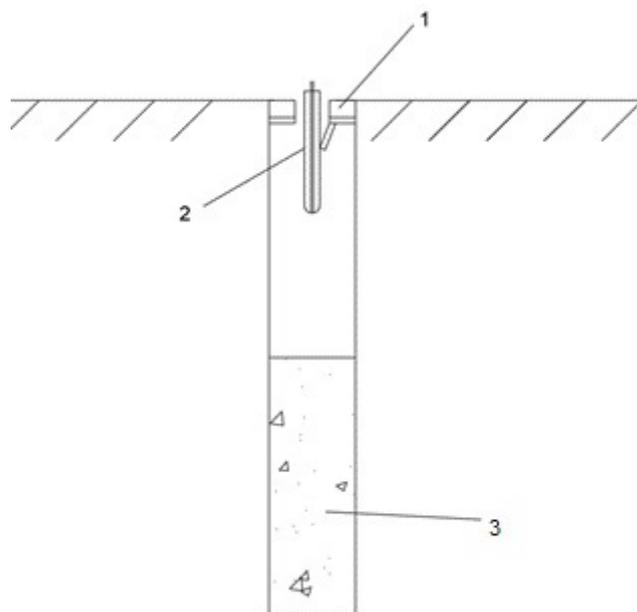


Рис. 1. Схема внедрения иньектора в шпур:
1 – клапан, 2 – иньектор, 3 – фотополимерный материал

После заполнения отверстия шпура необходимым объемом полимерного состава, вводится анкерный болт с приваренными к нему металлическими стержнями по периметру, выполняющими в свою очередь роль окаймляющего каркаса.

Светодиоды крепятся одним концом к анкерному болту, другим – к тонким металлическим стержням (рис. 2). Здесь очень важно соблюсти зазор между тонкими стержнями и гранями отверстия таким образом, чтобы расстояние между излучателями светодиодов как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости было не более, чем вдвое больше глубины проникновения излучения, что для текущих данных составляет 12 мм.

Следует отметить, что анкерная штанга имеет большую длину, чем тонкие металлические стержни, так как имеет концевой штырь для открытия герметизатора, который, в свою очередь, не допускает вытекания фотополимерной композиции из отверстия.

После установки анкерного болта в проектное положение, на него подается ток от источника, причем металлические стержни служат отводящими проводниками (рис. 3), а сам процесс фотополимеризации занимает от 1,5 до 2,5 минут.

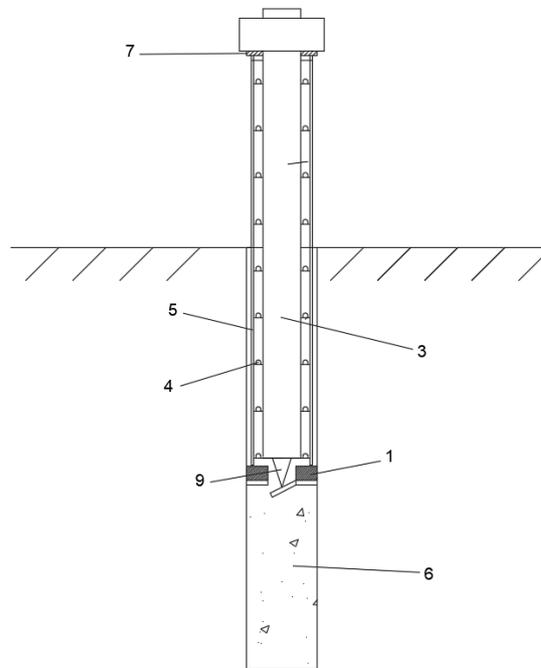


Рис. 2. Схема установки анкерной штанги в шпур:
1 – клапан, 3 – анкерная штанга, 4 – светодиоды, 5 – металлические стержни,
6 – фотополимерный материал, 7 – герметизатор, 9 – штырь

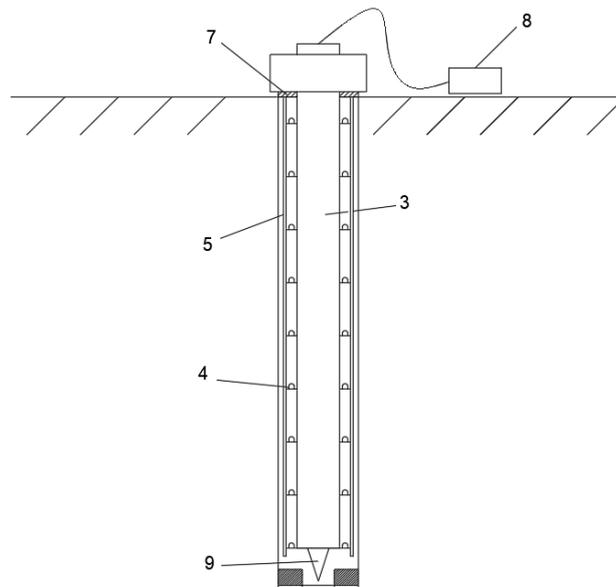


Рис. 3. Схема подачи тока на анкерную штангу:
3 – анкерная штанга, 4 – светодиоды, 5 – металлические стержни, 7 – герметизатор,
8 – источник питания, 9 – штырь

Область химических анкеров находится в непрекращающемся развитии. С каждым новым этапом разработки анкеры становятся все более совершенными и универсальными, находя применение в самых разных областях строительства и монтажа.

Отмечая необходимость комплексного применения инновационных решений, можно также говорить о том, что последовательное и спланированное применение инновационных технологий в строительной сфере от микроуровня, соответствующего, например, применению микро и даже нанокомпозитов в составе фотополимеров [16], до уровня, соответствующего размерам применяемого инновационного анкера, и так далее, до уровня, где инновационные решения планируются в масштабах целых зданий, районов и городов, как например запланированный эффект Бильбао [23], может способствовать повышению инновационного потенциала территорий [23, 24].

Заключение.

Предложен способ крепления фотополимерного химического анкера, основной особенностью которого является значительное расширение температурного диапазона применения, что позволит открыть новые возможности для строительства и монтажа в сложных климатических условиях.

Приведены расчетные зависимости скорости полимеризации от типов излучателей и формулы, позволяющие пересчитывать время фотополимеризации композитов, используя известные данные для облучателей с одинаковой длиной волны, но разной интенсивностью излучения.

Одним из перспективных направлений развития технологии химических анкеров является расширение температурного диапазона применимости последних. Это позволит использовать их в условиях экстремальных температур, что особенно актуально для регионов с жарким или холодным климатом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Семенов, В. С.** Технология анкерного крепления к бетону и каменной кладке / В. С. Семенов, А. Ю. Губский // Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – №. 9. – С. 48-53. – DOI 10.33622/0869-7019.2020.09.48-53.
2. **Nilforoush, R.** Experimental evaluation of influence of member thickness, anchor-head size, and orthogonal surface reinforcement on the tensile capacity of headed anchors in uncracked concrete / R.Nilforoush, M.Nilsson, L. Elfgren // Journal of Structural Engineering. – 2018. – Т. 144. – №. 4. – С. 04018012. – DOI 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001976.
3. **Зубков, А. А.** Инъекционный анкер. пат. №143204 (Российская Федерация), МПК E21D 21/00 патентообладатель А.А. Зубков. - № 2014103645/03; заявл. 03.02.2014; - опубл. 20.07.2014, Бюл. № 20.
4. **Майоров, А. В.** Технология и способы применения химических анкеров / А. В. Майоров, Д. Е. Мандрико // Академическая публицистика. – 2019. – № 12. – С. 61-65.
5. **Mousavi Siamakani, S. Y.** Post-installed anchors in concrete strengthened by post-installed reinforcement under tensile load / S. Y. Mousavi Siamakani, R. Sahamitmongkol // European Journal of Environmental and Civil Engineering. – 2022. – Т. 26. – №. 13. – С. 6563-6582. – DOI 10.1080.19648189.2021.1948450.
6. **Eligehausen, R.** Behavior and design of adhesive bonded anchors / R. Eligehausen, R. A. Cook // ACI Structural Journal. – 2006. – Т. 103. – №. 6. – С. 822.
7. **Richardson, A. E.** Temperature related pull-out performance of chemical anchor bolts in fibre concrete / A. E. Richardson, S. Dawson, L. Campbell, G. Moore, C. Mc Kenzie // Construction and Building Materials. – 2019. – Т. 196. – С. 478-484. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.144.

8. **Contrafatto, L.** Behaviour of post-installed adhesive anchors in natural stone / L. Contrafatto, R. Cosenza // *Construction and Building Materials*. – 2014. – Т. 68. – С. 355-369. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2014.05.099.
9. **Грановский, А. В.** Оценка прочности заделки металлических анкеров в кирпичную кладку / А. В. Грановский, М. О. Павлова, В. Ч. Ласкевич // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. – 2000. – № 4. – С. 6-7.
10. **Грановский, А. В.** Исследование прочности и деформативности стен из керамического кирпича в зоне заделки металлических анкеров / А. В. Грановский, М. О. Павлова // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2001. – № 10. – С. 17-18.
11. **Алексеев, А. А.** Анализ влияния температуры на свойства химического анкера / А. А. Алексеев // *Тенденции развития науки и образования*. – 2022. – № 89-1. – С. 53-56. – DOI 10.18411/trnio-09-2022-13.
12. **Le, T. T.** Experimental study on bond strength of adhesive post-installed rebar systems during fire / T. T. Le, S. Owa, C. Song, K. Ikeda // *Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)*. – 2019. – Т. 84. – № 758. – С. 575-582.
13. **Самохвалова, К. А.** Экспериментальное исследование свойств бетонных смесей для 3D-печати / К. А. Самохвалова, В. И. Клещевникова, С. В. Беляева // *Неделя науки ИСИ: сборник материалов всероссийской конференции в 3-х частях*. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 56-58.
14. **Kleshchevnikova, V.** Optimization of mix designs and experimental study of the properties of concrete mix for 3D printing / V. Kleshchevnikova, S. Belyaeva, A. Baranov // *Energy, Environmental and Construction Engineering: collection of articles of the international scientific conference on EECE*. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 151-160. – DOI 10.1007/978-3-030-72404-7_16.
15. **Самохвалова, К. А.** Смеси для строительной печати в условиях пониженных температур / К. А. Самохвалова, Д. В. Рогозинникова, С. В. Беляева // *Неделя науки ИСИ: сборник материалов всероссийской конференции в 3-х частях*. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 59-61.
16. Применение светоотверждаемых наноуплотненных композитных материалов в стоматологии (обзор литературы) / Н. И. Крихели, М. Н. Бычкова, О. В. Крамар, О. В. Руднева, П. Ю. Перетягин, Н. Ю. Перетягин // *Медицинский алфавит*. – 2023. – № 30. – С. 70-73. – DOI: 10.33667/2078-5631-2023-30-70-73.
17. **Колодий, Ю. Р.** Инновационный нанокompозитный материал в стоматологии / Ю. Р. Колодий // *Бюллетень медицинских интернет-конференций*. – 2017. – Т. 7. – № 9. – С. 1418-1419.
18. **Молоствов А. В., Никитин С. Н., Ларионов А. А.** Передвижная пропиточная линия для производства препрегов, отверждаемых ультрафиолетом. пат. №200933 (Российская Федерация), МПК С08J 5/24; В29В 15/10 патентообладатель общество с ограниченной ответственностью “ЛУЧ” (RU). – № 2020124997; заявл. 28.07.2020; – опубл. 19.11.2020, Бюл. №32.
19. **Артыщенко С. В., Чигарев А. Г., Панфилов Д. В., Дмитриев И. С.** Способ крепления химического анкера. пат. №2810773 (Российская Федерация), МПК E21D 20/02; E02D 3/12 патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет». – № 2023103541; заявл. 15.02.2023; опубл. 28.12.2023, Бюл. № 1.
20. **Малышев Ю. Н., Атрушкевич А. А., Пузырев Г. Е., Гук А. И., Атрушкевич О. А., Малышев В. Н.** Способ установки стержневых анкеров с закреплением быстротвердеющими составами. пат. №2082007 (Российская Федерация), МПК E21D 20/00 патентообладатель научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт добычи угля гидравлическим способом. - № 94039804/03; заявл. 24.10.1994; опубл. 20.06.1997.

21. **Адамчик, А. А.** Оценка полимеризации композита / А. А. Адамчик // Кубанский научный медицинский вестник. – 2015. – № 1. – С. 7-11.
22. **Химия древесины и синтетических полимеров** / В. И. Азаров [и др.]. – Москва: Издательство Московского государственного университета леса (МГУЛ), 2011. – 368 с.
23. К вопросу о возможности достижения запланированного эффекта Бильбао и повышения инновационного потенциала территории / С. В. Артыщенко, Д. В. Панфилов, А. Г. Чигарев, С. П. Бондарь // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 2(29). – С. 71-84. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.29.2.008.
24. Фрактальные структуры как важный аспект повышения инновационного потенциала территории / С. В. Артыщенко, Д. В. Панфилов, А. Г. Чигарев, С. П. Бондарь // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 1(28). – С. 99-108. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.010.

Поступила в редакцию 22 декабря 2024

INNOVATIVE ANCHOR FASTENING TECHNOLOGIES USING PHOTOPOLYMER MATERIALS

S. V. Artyshchenko, D. V. Panfilov, A. G. Tchigarev, I. S. Dmitriev

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

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

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

Ivan Sergeevich Dmitriev, student of the Department of Metal and Wooden Structures, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(951)865-68-57; e-mail: ivan.dmitriev10@yandex.ru

The article considers current issues related to the field of anchor fastenings. We give some examples of innovative methods for modeling the behavior of such fastenings. In the paper we discuss the problem of polymerization of chemical anchors in various climatic conditions and temperature ranges. As a result we propose a comprehensive solution including the use of photopolymer materials. We also give calculated dependences of the polymerization rate on the types of emitters. It is shown that our method of fastening chemical anchors is capable of significantly expanding the temperature range of their application.

Keywords: chemical anchor; photopolymerization; photopolymer materials; radiation intensity; reaction rate.

REFERENCES

1. **Semenov V. S.** *Technology of anchoring to concrete and stone masonry*. Industrial and Civil Engineering. 2020. No. 9. Pp. 48-53. (in Russian)
2. **Nilforoush, R., Nilsson M., Elfgrén L.** *Experimental evaluation of influence of member thickness, anchor-head size, and orthogonal surface reinforcement on the tensile capacity of headed anchors in uncracked concrete*. Journal of Structural Engineering. 2018. Vol. 144. No. 4. Pp. 04018012. DOI 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001976.
3. **Zubkov A. A.** *Injection anchor*. Pat. No. 143204 (Russian Federation), IPC E21D 21/00 patentee A. A. Zubkov. No. 2014103645/03; Appl. 03.02.2014; publ. 20.07.2014, bull. No. 20. (in Russian)

4. **Mayorov A. V., Mandriko D. E.** *Technology and methods of using chemical anchors*. Academic journalism. 2019. No. 12. Pp. 61-65. (in Russian)
5. **Mousavi Siamakani S. Y., Sahamitmongkol R.** *Post-installed anchors in concrete strengthened by post-installed reinforcement under tense load*. European Journal of Environmental and Civil Engineering. 2022. Vol. 26. No. 13. Pp. 6563-6582. DOI 10.1080.19648189.2021.1948450.
6. **Elgehausen R., Cook R. A.** *Behavior and design of adhesive bonded anchors*. ACI Structural Journal. 2006. Vol. 103. No. 6. Pp. 822.
7. **Richardson A. E., Dawson S., Campbell L., Moore G., Kenzie Mc.** *Temperature related pull-out performance of chemical anchor bolts in fibre concrete*. Construction and Building Materials. 2019. Vol. 196. Pp. 478-484. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.144.
8. **Contrafatto L., Cosenza R.** *Behavior of post-installed adhesive anchors in natural stone*. Construction and Building Materials. 2014. Vol. 68. Pp. 355-369.
9. **Granovsky A. V., Pavlova M. O., Laskevich V. Ch.** *Assessment of the sealing strength of metal anchors in brickwork*. Earthquake-resistant construction. Safety of structures. 2000. No. 4. Pp. 6-7. (in Russian)
10. **Granovsky A. V., Pavlova M. O.** *Investigation of the strength and deformability of ceramic brick walls in the area of sealing metal anchors*. Industrial and civil engineering. 2001. No. 10. Pp. 17-18. (in Russian)
11. **Alekseev A. A.** *Analysis of the influence of temperature on the properties of a chemical anchor*. Trends in the development of science and education. 2022. No. 89-1. Pp. 53-56. DOI 10.18411/trnio-09-2022-13. (in Russian)
12. **Le T. T., Owa S., Song C., Ikeda K.** *Experimental study on bond strength of adhesive post-installed rebar systems during fire*. Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ). 2019. Vol. 84. No. 758. Pp. 575-582.
13. **Samokhvalova K. A., Kleshchevnikova V. I., Belyaeva S. V.** *Experimental study of properties concrete mixes for 3D printing*. ISI Science Week: collection of articles of the All-Russian conference in 3 parts. St. Peterburg. 2021. Pp. 56-58. (in Russian)
14. **Kleshchevnikova V., Belyaeva S., Baranov A.** *Optimization of mix designs and experimental study of the properties of concrete mix for 3D printing*. Energy, Environmental and Construction Engineering: collection of articles of the international scientific conference on EECE. St. Peterburg. 2021. Pp. 151-160. DOI 10.1007/978-3-030-72404-7_16.
15. **Samokhvalova K. A., Rogozinnikova D. V., Belyaeva S. V.** *Mixtures for building printing at low temperatures*. ISI Science Week: collection of articles of the All-Russian conference in 3 parts. St. Peterburg. 2021. Pp. 59-61. (in Russian)
16. **Krikheli N. I., Bychkova M. N., Kramar O. V., Rudneva O. V., Peretyagin P. Yu., Peretyagin N. Yu.** *Application of light-cured nanofilled composite materials in dentistry (literature review)*. Medical alphabet. 2023. No. 30. Pp. 70-73. DOI: 10.33667/2078-5631-2023-30-70-73. (in Russian)
17. **Kolodiy Yu. R.** *Innovative nanocomposite material in dentistry*. Bulletin of medical Internet conferences. 2017. Vol. 7. No. 9. Pp. 1418-1419. (in Russian)
18. **Molostvov A. V., Nikitin S. N., Larionov A. A.** *Mobile impregnation line for the production of prepregs cured by ultraviolet light*. Pat. No. 200933 (Russian Federation), IPC C08J 5/24; B29B 15/10 patentee Limited Liability Company "LUCH" (RU). No. 2020124997; Appl. 28.07.2020, publ. 19.11.2020, bull. No. 32. (in Russian)
19. **Artyshenko S. V., Chigarev A. G., Panfilov D. V., Dmitriev I. S.** *Method of fastening a chemical anchor*. Pat. No. 2810773 (Russian Federation), IPC E21D 20/02; E02D 3/12 patentee Federal state educational institution of higher professional education «Voronezh State University of Architecture and Construction». No. 2023103541; Appl. 15.02.2023; publ. 28.12.2023, bull. No. 1. (in Russian)

20. **Malyshev Yu. N., Atrushkevich A. A., Puzyrev G. E., Guk A. I., Atrushkevich O. A., Malyshev V. N.** *Method of installing rod anchors with fast-hardening compounds*. Pat. No. 2082007 (Russian Federation), IPC E21D 20/00 patentee Research and design Institute of Hydraulic coal mining. No. 94039804/03; Appl. 24.10.1994; publ. 20.06.1997. (in Russian)

21. **Adamchik A. A.** *Assessment of polymerization of composite*. Kuban Scientific Medical Bulletin. 2015. No. 1. Pp. 7-11. (in Russian)

22. **Azarov V. I.** *Chemistry of wood and synthetic polymers*. Moscow, Publishing House of the Moscow State University of Forests (MGUL). 2011. 368 p. (in Russian)

23. **Artyshchenko S. V., Panfilov D. V., Tchigarev A. G., Bondar S. P.** *On the issue of possibility of achieving the planned Bilbao effect and increasing the innovative potential of the territory*. Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 2(29). Pp. 71-84. DOI 10.36622/2541-9110.2024.29.2.008. (in Russian)

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

Received 22 December 2024

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Инновационные технологии анкерного крепления с применением фотополимерных материалов / С. В. Артыщенко, Д. В. Панфилов, А. Г. Чигарев, И. С. Дмитриев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 1(32). – С. 9-19. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.001.

FOR CITATION:

Artyshchenko S. V., Panfilov D. V., Tchigarev A. G., Dmitriev I. S. *Innovative anchor fastening technologies using photopolymer materials*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 1(32). Pp. 9-19. DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.001. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.002

УДК 692.232:624.078

УЧЕТ ДЕГРАДАЦИИ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОВЕРОЧНЫХ РАСЧЁТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков, М. С. Кононова

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

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

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

Приведено обоснование необходимости учета процесса деградации материалов и строительных конструкций при проведении обследований и выполнении поверочных расчетов. Представлен анализ важнейших факторов, влияющих на процесс деградации: действующие нагрузки, природные и климатические условия, а также агрессивные среды. Показано, что расчеты по предельным состояниям, выполняемые по действующим нормативным методикам, напрямую не учитывают развитие процессов деградации. Климатические воздействия, которые начинаются с момента создания конструкции и продолжаются на всем этапе её эксплуатации, влияют на изменение свойств материалов, однако действующие нормы не учитывают эти изменения в расчетах. Обосновано, что для описания деградации материалов могут использоваться различные математические модели, включая многостадийные модели. Предложены простейшие математические модели деградации, применимые в условиях обследований. Эти модели помогут на практике прогнозировать текущее техническое состояние конструкций и предотвратить аварии конструкций.

Ключевые слова: поверочные расчеты; строительные конструкции; деградация; строительные материалы; математические модели; многостадийные модели.

Деградация материалов строительных конструкций является естественным и неизбежным процессом, который оказывает значительное влияние на надежность и долговечность зданий и сооружений. В соответствии с установками п.п. 4.1 и 5.2.1 ГОСТ 31937-2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» при проведении обследования текущего состояния строительных конструкций любых зданий и сооружений, для определения категории технического состояния которых требуется выполнять поверочные расчеты по предельным состояниям 1-й и 2-й групп, производить поверочные расчеты следует с учетом деградации свойств материалов. В том же государственном стандарте в п. 2.1.2 дается расшифровка термина «деградация свойств материалов во времени», под которой следует понимать «постепенное понижение уровня эксплуатационных характеристик материалов, процесс их изменения в сторону ухудшения относительно проектных значений».

Вопросам деградации свойств строительных материалов и конструкций, в последние годы уделяется большое внимание. Ведущие специалисты страны в области строительных конструкций публикуют в последние годы большое количество научных статей, в которых рассматривают те или иные вопросы деградации строительных материалов. Из общего объема статей следует выделить, как наиболее значимые работы [1...4].

Деградация свойств материалов, из которых изготавливаются строительные конст-

рукции, в нормальных условиях эксплуатации объектов капитального строительства обычно происходит в течении достаточно длительного периода времени, растянутого на десятки и сотни лет. На развитие процесса деградации свойств материалов строительных конструкций оказывают влияние несколько групп факторов различного происхождения. К самым значимым и распространенным из них можно отнести:

- ✓ действующие на строительную конструкцию нагрузки;
- ✓ природно-климатические факторы и воздействия;
- ✓ агрессивная среда.

При этом следует отметить, что не последнее место на процесс развития деградации свойств материалов строительных конструкций в эксплуатируемых зданиях и сооружениях, оказывают: первоначальное качество материалов, из которых изготовлена конструкция, а также само качество изготовления строительной конструкции.

В пределе, практически любой процесс деградации материалов конструкций приводит к отказу конструкции. При этом под отказом строительной конструкции, в соответствии с определением, приведенным в п. 2.1.10 ГОСТ27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения», следует понимать такое «состояние строительного объекта, при котором не выполняется одно или несколько условий предельных состояний».

Рассмотрим влияние каждой из перечисленных выше групп факторов на процесс деградации строительных конструкций по отдельности.

Влияние нагрузок.

Как отмечается в работах [5, 6], изменения фактических численных значений действующих на строительные конструкции зданий и сооружений нагрузок, изменяющихся в процессе эксплуатации, нормами учитываются опосредованно, за счет введения в расчеты коэффициентов надежности. При этом в качестве обоснования введения различных коэффициентов надежности в расчеты строительных конструкций, авторами работ [5, 6], указывается на неточности расчетных методик (как по первой так и по второй группам предельных состояний строительных конструкций), разброс показателей прочности по различным участкам конструкций (особенно это характерно для железобетонных, каменных и деревянных конструкций), отсутствие точных знаний о процессах снижения прочностных свойств различных материалов в процессе длительной эксплуатации, в том числе в зависимости от воздействий климатических факторов и агрессивности среды.

На эксплуатирующиеся строительные конструкции воздействуют самые разнообразные нагрузки. Их фактическое влияние практически на все строительные конструкции, независимо от материала, из которого изготовлена та или иная конструкция, можно оценить по появлению и развитию нескольких основных видов повреждений:

- ✓ силовых трещин;
- ✓ локальному смятию на ограниченном участке;
- ✓ сколам ребер конструкций.

При этом следует заметить, что ни в одном нормативно-техническом документе (государственные стандарты, своды правил, ведомственные строительные нормы, стандарты организаций и др.), который регламентирует правила и последовательность выполнения расчетов строительных конструкций не предусматривается порядок расчета, учитывающий изменение во времени действующих нагрузок, а также изменения прочностных свойств материалов, происходящих в процессе деградации.

Эти изменения нормами учитываются опосредованно за счет вводимых в расчеты коэффициентов надежности. Действующие законодательные акты Российской Федерации и нормативно-технические документы учитывают введение в расчеты, как по первой, так и по второй группе предельных состояний следующих коэффициентов надежности:

- ✓ коэффициент надежности по материалу конструкции;
- ✓ коэффициент надежности по нагрузкам;

- ✓ коэффициент условий работы конструкции;
- ✓ коэффициент надежности по ответственности здания (сооружения).

Коэффициент надежности по материалу учитывает возможное ухудшение свойств материала строительной конструкции в процессе ее длительной эксплуатации. При этом, коэффициенты надежности по материалу, для различных строительных материалов, также значительно разнятся, например, значения коэффициента надежности для бетонов принимаются равными: 1,0 – для расчетов по предельным состояниям 2-й группы; 2,3 – для ячеистых бетонов для расчета по предельным состояниям первой группы при назначении класса бетона по прочности на сжатие (п. 6.1.11 СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»)

Так, например, коэффициент надежности по нагрузке учитывает возможную изменчивость нагрузок как в процессе строительства, так и в процессе эксплуатации конструкций. Численные значения коэффициентов надежности по нагрузке для различных расчетных ситуаций изменяются в широких пределах, от 0,9 при проверке строительных конструкций на устойчивость, когда уменьшение веса конструкций и грунтов может ухудшить условия работы конструкции (п. 7.3 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*»), до 1,8 для гололедных нагрузок (п. 12.5 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*»).

Коэффициенты надежности по условиям работы учитывают несоответствие между принятой расчетной схемой конструкции, составленной по правилам строительной механики и реальными условиями работы, включая условия ее закрепления, жесткости конструкции и др. Для каждого вида конструкций в зависимости от особенностей их работы, в соответствующих сводах правил, приводятся принятые на основании опыта проектирования значения соответствующих коэффициентов.

Значения коэффициентов надежности по ответственности сооружения, приведенные в табл.2 ГОСТ27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» напрямую связаны с классами ответственности сооружений, утвержденными п. 7 статьи 4 Федерального закона от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Так, например, коэффициент надежности по ответственности пониженного уровня ответственности зданий и сооружений, к которым относятся временные и вспомогательные здания и сооружения, принят равным 0,8. В то же время для зданий и сооружений с повышенным уровнем ответственности, к которым относят особо опасные, технически сложные и уникальные объекты, принимается равным не менее 1,2.

Однако следует отметить, что ни коэффициент надежности по нагрузкам, ни коэффициент надежности по материалу, и тем более коэффициент условий работы конструкции никак не увязаны ни с учетом деградации материалов конструкций, ни с расчетным сроком службы конструкции. Косвенно со сроком службы здания или сооружений, но не отдельной конструкции, связан коэффициент надежности по ответственности. Эта связь заключается в том, что каждому уровню ответственности зданий и сооружений в соответствии ставится рекомендуемый срок службы зданий или сооружений (табл. 1 ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения»).

Таким образом, ни один из используемых в расчетах строительных конструкций, в соответствии с действующими нормативно-техническими документами, коэффициентов надежности не может четко ответить на вопрос, о том, как будет развиваться процесс деградации того или иного материала, с какой скоростью и в течение какого интервала времени.

Влияние климатических воздействий.

Воздействие климатических факторов на строительные конструкции эксплуатируемых зданий и сооружений начинается сразу с момента изготовления. Практически любая

строительная конструкция или изделие, выпускаемые в заводских условиях или изготовленная непосредственно на строительной площадке, сразу оказывается в условиях воздействия природно-климатических факторов окружающей среды, а также под воздействием химических реагентов, находящихся в воздухе. На территории завода, только что изготовленная конструкция попадает на открытый склад, откуда ее транспортом перевозят на строительную площадку. На строительной площадке конструкция или изделие, чаще всего снова попадает на открытый приобъектный склад. Реже, конструкция сразу может быть смонтирована в проектное положение (в случае использования на объекте технологии «монтаж с колес»). При изготовлении конструкции в условиях строительной площадки она сразу оказывается под открытым небом.

И в том и в другом случае на конструкцию или строительное изделие воздействуют природно-климатические факторы и химические реагенты из воздуха. Следует отметить, что основная часть несущих конструкций любого строительного объекта находится в таких условиях небольшой промежуток времени (обычно 1...2 года, реже больше), по сравнению со всей продолжительностью эксплуатации объекта, которая может достигать нескольких десятков, а иногда и сотен лет. В ходе последующей нормальной эксплуатации большая часть несущих строительных конструкций оказывается в условиях, более-менее стационарных, точки зрения воздействий природно-климатических факторов внешней среды, от которой они защищены ограждающими конструкциями.

Если же говорить об ограждающих конструкциях зданий и сооружений, то они испытывают на себе воздействие природно-климатических факторов и реагентов окружающей среды на протяжении всего срока эксплуатации. При этом в расчетах, как несущих, так и ограждающих конструкций зданий и сооружений, по действующим нормативно-техническим документам никак не рассматривается вопрос учета влияния природно-климатических факторов и воздействий на материалы строительных конструкций. Так же в расчетах по действующим нормам проектирования не учитывается изменение свойств материалов конструкций в процессе длительной эксплуатации. Так, например, при выполнении теплотехнических расчетов ограждающих конструкций зданий и сооружений, свойства материалов ограждающих конструкций, не учитывают влияние влажности внутри конструкции на изменение ее теплотехнических характеристик, не учитывают возможности льдообразования внутри конструкций и последующего разрушения внутренней структуры материала, и так далее.

Если детально рассмотреть процесс влияния природно-климатических воздействий на строительные конструкции, то его можно описать следующим примером.

Пример: под воздействием природно-климатических факторов (влажность, температура, солнечное освещение, ветер и др.), внешние слои кирпичной кладки наружных стен зданий и сооружений испытывают на себе знакопеременные воздействия: увлажнение – высушивание; замораживание – оттаивание; нагрев – охлаждение и т.п. К этим воздействиям, которые в процессе длительной эксплуатации, нарушают структуру кирпича и раствора, добавляются воздействия всего волнового спектра солнечной радиации, а также эрозия от ветрового воздействия переменной интенсивности. Наиболее интенсивным воздействием, приводящем к деградации внешних слоев материалов каменной кладки, является увлажнение каменной кладки с последующим замораживанием – оттаиванием. В нормах по проектированию каменных конструкций (СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции») указаны требования по морозостойкости материала стен.

Материал стен должен соответствовать классу по морозостойкости от F15 до F100, в зависимости от предполагаемых сроков службы (таблицы 5.1 и 5.3 СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции»). При этом по действующим нормам (рисунок А.3 – Схематическая карта распределения среднего за год числа дней с переходом температуры воздуха через 0 °С в Приложении А к СП 131.13330.2020 «Строительная климато-

логия») для большей части Европейской территории Российской Федерации, количество дней с переходом температуры воздуха через отметку 0 °С составляет от 60 до 70 раз.

Опыты, проведенные под руководством доцента кафедры жилищно-коммунального хозяйства ФГБОУ ВГТУ к.т.н. Ишкова А. Н., по увлажнению внешнего слоя кирпича (силикатного, глиняного и керамического), показали, что в случае косого дождя влага проникает в кирпич на глубину от 10 до 20 мм (в зависимости от материала кирпича и продолжительности увлажнения). Таким образом, в течение одного года наружный ряд кирпича может получить структурные разрушения от увлажнения и последующего замораживания на глубину до 20 мм (при неблагоприятных условиях). Нарушенная в ходе попеременного замораживания – оттаивания структура кирпича становится более пористой, больше впитывает влагу, в том числе и из окружающего воздуха, и далее более интенсивно разрушается (рис. 1).

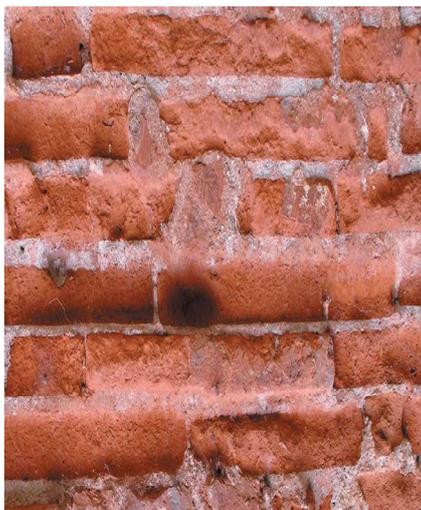


Рис. 1. Фрагмент разрушения каменной кладки наружной стены, выполненной из глиняного кирпича при увлажнении и последующем многоцикловом замораживании-оттаивании

Влияние агрессивной среды.

Как известно, уровень агрессивности среды (жидкой, газо-воздушной) зависит от активности химических реагентов, показателя рН среды, концентрации химически активных веществ и ряда других факторов. При воздействии агрессивной среды на материал строительных конструкций в последней начинают происходить процессы разрушения структуры материала, связанные с прохождением различных химических реакций. При этом по механизму протекания различают химическую и электрохимическую коррозию материалов. Разрушение структуры материала при воздействии агрессивной среды по факту можно считать деградацией материала и его свойств.

Учет деградации свойств материалов строительных конструкций, в условиях воздействия агрессивной среды возможен, если известна скорость деградации. Так, например, для стальных конструкций, работающих в условиях агрессивной среды, скорость коррозии, в зависимости от степени агрессивности среды, для разных по силе агрессивности сред, изменяется в пределах от 0,025 до 0,5 мм/год [7, 8].

Воздействие химических реагентов на стальные конструкции, как отмечается в [9], характеризуется не только скоростью развития коррозионных процессов и агрессивностью среды, но также и пространственным расположением самих конструкций.

В общем виде, простейшая линейная математическая модель деградации большинства материалов строительных конструкций, вне зависимости от факторов, ее вызывающих, может быть описана следующим выражением:

$$D(t) = D_0 - k \cdot (t - t_0), \quad (1)$$

где $D(t)$ – параметр деградации материала во времени; D_0 – исходное значение параметра деградации в начальный момент времени t_0 ; k – коэффициент, отвечающий за интенсивность (скорость) процесса деградации; t – текущее время; t_0 – начальный момент времени (начало процесса деградации).

Формула (1) справедлива для каменных, деревянных и стальных конструкций, в материале которых, после их изготовления, не происходит дополнительный набор прочности, как, например, это характерно для бетонов.

Для бетонных и железобетонных конструкций следует использовать несколько модифицированные формулы. Так для бетона естественного твердения, при благоприятных условиях, характерен длительный набор прочности в течении до одного двух десятков лет. В то время как пропаренный бетон заводского изготовления набирает основную прочность (до 90 %) в процессе заводской тепло-влажностной обработки. Соответственно для каждого вида бетонов характерна своя модель деградации:

✓ для бетона естественного твердения [10]:

$$R(t) = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \lg(t)) - k \cdot (t - t_0), \quad (2)$$

✓ для бетона, подвергнутого тепло-влажностной обработке [11]:

$$R(t) = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \ln(t)) - k \cdot (t - t_0), \quad (3)$$

где $R(t)$ – прочностной параметр бетона (марка, класс), в текущий момент времени; R_0 – начальный прочностной параметр бетона в момент времени t_0 ; α – коэффициент, характеризующий интенсивность прироста прочности бетона со временем и зависящий от состава бетонной смеси, условий набора прочности бетона и др. факторов; t – текущее время; k – коэффициент интенсивности снижения прочности бетона вследствие деструктивных процессов; t_0 – начальный момент времени, до начала развития деструктивных процессов [10, 11].

В то же время наиболее достоверно описывающей модель деградации строительных конструкций и любых сложных систем, к которым относятся здания и сооружения, является так называемая многостадийная модель, предложенная В. В. Болотиным [12]. Графическое представление модели приведено на рис. 2.

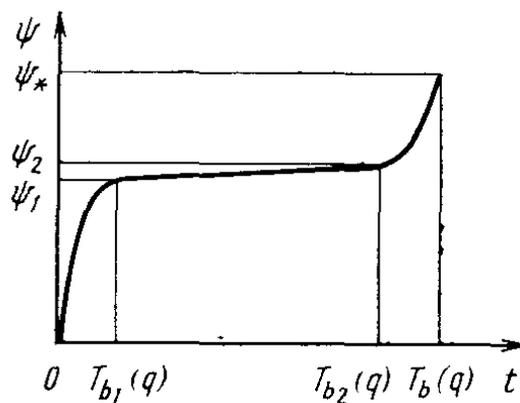


Рис. 2. Многостадийная модель накопления повреждений (деградации) [12]

Представленная на рис. 2 многостадийная модель деградации, связанная с накоплением повреждений в конструкции, хорошо описывает работу конструкций при постоянных нагрузках. Введение в эту модель деградации временных переменных нагрузок и других непостоянных факторов и воздействий, следует рассматривать уже как семейство случайных функций процесса деградации, что более подробно описано в работах [13, 14]. Математическое описание многостадийных моделей, а также сравнительный анализ некоторых из них приведены в работах [15, 16]. Математическое описание многостадийной модели, приведенной на рис. 2, в общем виде может быть представлено следующей формулой:

$$Y = \ln\left(\frac{1+D \cdot t/T}{1-t/T}\right) \cdot 1/k, \quad (4)$$

где Y – функция многостадийной модели накопления повреждений (деградации) по рис. 2; D – предельное значение деградации, % (от 70 до 100, в зависимости от принятых расчетных параметров и особенностей модели деградации); t – текущий момент времени, на который производится оценка расчетного параметра деградации; T – момент времени, когда будет достигнуто предельное значение деградации D ; k – коэффициент, определяющий форму кривой.

В качестве одного из параметров деградации, для построения многостадийной модели по формуле (4), может быть использован обобщенный параметр накопления повреждений – физический износ, который в соответствии с приведенным в ВСН 553-86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий», показывает утрату строительными конструкциями, системами инженерного оборудования и здания в целом первоначальных технико-эксплуатационных качеств (прочности, устойчивости, надежности и др.) в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека.

Сравнение определений «деградации свойств материалов во времени» по ГОСТ 31937-2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» и физического износа по ВСН 53-86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий» показывает их идентичность. И в том и в другом определении говорится о снижении или утрате первоначальных качеств материала или конструкции во времени под воздействием различных факторов. Физический износ строительных конструкций и инженерных систем имеет четкую привязку к дефектам и повреждениям, как в качественном, так и в количественном отношении и по факту может рассматриваться как один из параметров деградации. Математическая модель, описываемая по формуле (4), в работах [15, 16] использована авторами, как раз для прогнозирования физического износа строительных конструкций.

Поскольку все модели деградации свойств материалов и параметров строительных конструкций рассматриваются на некотором интервале времени и подразумевают под собой некую модель прогноза развития состояния материалов и конструкций во времени, то предписываемые п.п. 4.1 и 5.2.1 ГОСТ 31937-2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» поверочные расчеты строительных конструкций, которые необходимо выполнять в рамках проведения технических обследований, должны учитывать такие модели. В этом случае автоматически переходим к процессу мониторинга строительных конструкций, зданий и сооружений, так как именно при мониторинге необходимо вести не только постоянные наблюдения за состоянием конструкций, но выполнять прогнозирование развития их технического состояния, чтобы своевременно принять необходимые решения по недопущению аварий.

Заключение.

Приведено обоснование необходимости учёта процессов деградации при проведении обследований и выполнении поверочных расчетов, что будет способствовать обеспечению безопасности и эксплуатационной надежности объектов капитального строительства.

Показано, что в существующих методиках расчета процессы деградации не учитываются. Введение коэффициентов надежности в расчеты строительных конструкций позволяет косвенно учитывать изменения прочностных характеристик материалов, вызванные их деградацией, а также уменьшить неточности расчетных методик и разброс показателей прочности.

Предложено применение расчетных моделей, использование которых способствует упрощению процесса выполнения поверочных расчетов с учетом деградации как материалов, так и самих строительных конструкций, на любой стадии эксплуатации здания или сооружения.

Для более точного прогнозирования поведения конструкций в условиях длительной эксплуатации и с учетом процессов деградации, необходимо дальнейшее развитие расчетных методик и нормативных документов, а также проведение комплексных исследований, направленных на изучение механизмов деградации различных материалов и их влияния на эксплуатационные характеристики строительных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Мандрица, Д. П.** Разработка моделей деградации материалов и конструкций в условиях проливов компонентов топлива / Д. П. Мандрица, А. Н. Миронов, Д. А. Авсюкевич // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 12. – С. 436-441.
2. **Батраков, В. П.** Механизмы деградации бетона под воздействием климата / В. П. Батраков // Научно-исследовательский центр «Technical Innovations». – 2023. – № 19. – С. 19-24.
3. **Варламов, А. А.** Модели материалов по теории деградации / А. А. Варламов, В. И. Теличенко, В. И. Римшин // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 4(382). – С. 59-65.
4. **Карпенко, Н. И.** Модели поведения бетона. Общая теория деградации / Н. И. Карпенко // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2019. – № 2(39). – С. 146.
5. **Шпете, Г.** Надежность несущих строительных конструкций / Пер. с нем. О. О. Андреева. – Москва: Стройиздат. – 1994. – 288 с.
6. **Перельмутер, А. В.** Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / Научное издание. – Москва: Издательство ассоциации строительных вузов. – 2007. – 256 с.
7. **Васильев, А. И.** Природные и техногенные факторы, влияющие на скорость атмосферной коррозии металлоконструкций и арматуры в мостовых сооружениях / А. И. Васильев, А. А. Кочетков // Транспортное строительство. – 2022. – № 3. – С. 17-21.
8. **Шмелев, Г. Д.** Прогнозирование остаточного ресурса изгибаемых железобетонных конструкций, эксплуатируемых в неагрессивных средах / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков // монография. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет. – 2007. – 219 с.
9. Проектирование металлических конструкций: Спец. Курс. / В. В. Бирилов, И. И. Кошин, И. И. Крылов, А. В. Сильвестров. – Ленинград: Стройиздат. – 1990. – 432 с.
10. **Шмелев, Г. Д.** Параметрические методы прогнозирования остаточных сроков службы железобетонных строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, И. В. Николайчев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2013. – № 7. – С. 167-175.
11. **Самохина, М. Н.** Особенности прогнозирования изменения прочностных показателей бетона в условиях ограниченной информации / М. Н. Самохина, А. Н. Ишков, Г. Д. Шмелев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 1(8). – С. 9-17.
12. **Болотин, В. В.** Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – Москва: Машиностроение. – 1984. – 312 с.
13. **Шмелев, Г. Д.** Случайные функции и интервальный метод прогнозирования остаточного ресурса строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, М. И. Федотова, Н. В. Головина // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12. – № 11(110). – С. 1261-1268.
14. **Шмелев, Г. Д.** Использование случайных функций и процессов в комбинированной интегральной методике прогнозирования остаточных сроков службы строитель-

ных конструкций / Г. Д. Шмелев, М. И. Федотова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 1(39). – С. 128-137.

15. Анализ методики расчета сроков службы строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений / Г. Д. Шмелев, А. В. Жукова, Е. Э. Бурак, Э. В. Сазонов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 2(25). – С. 9-18.

16. Головина, Н. В. Сравнительный анализ нелинейных моделей прогнозирования остаточного ресурса и работоспособности конструктивных элементов жилых зданий / Н. В. Головина, Г. Д. Шмелев // Вестник МГСУ. – 2016. – № 5. – С. 10-17.

Поступила в редакцию 13 февраля 2025

CONSIDERATION OF MATERIALS DEGRADATION DURING VERIFICATION CALCULATIONS OF BUILDING STRUCTURES

G. D. Shmelev, A. N. Ishkov, M. S. Kononova

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

Alexey Nikolaevich Ishkov, Cand. Sc. (Tech), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-52-49; e-mail: ishkov1.78@mail.ru

Marina Sergeevna Kononova, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473) 271-52-49; e-mail: kniga18@mail.ru

In the article we give the rationale for the need to take into account the process of degradation of materials and building structures when conducting surveys and performing verification calculations. We analyze the most important factors influencing the degradation process: operating loads, natural and climatic conditions, as well as aggressive environments. It is shown that calculations based on limiting conditions performed according to current regulatory methods do not directly take into account the development of degradation processes. Climatic influences that begin from the moment the structure is created and continue throughout the entire stage of its operation affect changes in the properties of materials, but current regulations do not take these changes into account in calculations. It is proved that various mathematical models, including multi-stage models, can be used to describe the degradation of materials. We propose the simplest mathematical models of degradation applicable in survey conditions. These models may help in practice to predict the current technical condition of structures and to prevent structural accidents.

Keywords: verification calculations; building structures; degradation; building materials; mathematical models; multi-stage models.

REFERENCES

1. **Mandritsa D. P., Mironov A. N., Avsyukevich D. A.** *Development of models of degradation of materials and structures in conditions of fuel component spills.* Proceedings of Tula State University. Technical sciences. 2022. No. 12. Pp. 436-441. (in Russian)
2. **Batrakov V. P.** *Mechanisms of concrete degradation under the influence of climate* Scientific Research Center "Technical Innovations". 2023. No. 19. Pp. 19-24. (in Russian)
3. **Varlamov A. A., Telichenko V. I., Rimshin V. I.** *Models of materials on the theory of degradation.* News of higher educational institutions. Technology of the textile industry. 2019. No. 4(382). Pp. 59-65. (in Russian)

4. **Karpenko N. I.** *Models of concrete behavior. General theory of degradation.* Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University. 2019. No. 2 (39). Pp. 146. (in Russian)
5. **Shpete G.** *Reliability of bearing building structures.* Translated from German by O. O. Andreeva. Moscow, Stroyizdat. 1994. 288 p. (in Russian)
6. **Perelmuter A.V.** *Selected problems of reliability and safety of building structures. Scientific edition.* Moscow, Publishing House of the Association of Construction Universities. 2007. 256 p. (in Russian)
7. **Vasiliev A. I., Kochetkov A. A.** *Natural and man-made factors affecting the rate of atmospheric corrosion of metal structures and fittings in bridge structures.* Transport construction. 2022. No. 3. Pp. 17-21. (in Russian)
8. **Shmelev G. D., Ishkov A. N.** *Forecasting the residual resource of bent reinforced concrete structures operated in non-aggressive environments.* Monograph. Rostov-on-Don, Rostov State University Builds. Univ. 2007. 219 p. (in Russian)
9. **Birilyuv V. V., Koshin I. I., Krylov I. I., Silvestrov A. V.** *Design of metal structures: Spec. Course.* Leningrad, Stroyizdat. 1990. 432 p. (in Russian)
10. **Shmelev G. D., Nikolaichev I. V.** *Parametric methods for predicting the remaining service life of reinforced concrete building structures.* Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Physico-chemical problems and high technologies of building materials science. 2013. No. 7. Pp. 167-175. (in Russian)
11. **Samokhina M. N., Ishkov A. N., Shmelev G. D.** *Features of forecasting changes in the strength parameters of concrete in conditions of limited information.* Housing and communal infrastructure. 2019. No. 1(8). Pp. 9-17. (in Russian)
12. **Bolotin V. V.** *Forecasting the resource of machines and structures.* Moscow, Mashinostroenie. 1984. 312 p. (in Russian)
13. **Shmelev G. D., Fedotova M. I., Golovina N. V.** *Random functions and an interval method for predicting the residual resource of building structures.* Bulletin of MGSU. 2017. T. 12. No. 11(110). Pp. 1261-1268. (in Russian)
14. **Shmelev G. D., Fedotova M. I.** *The use of random functions and processes in a combined integral methodology for predicting the remaining service life of building structures.* Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2017. No 1 (39). Pp. 128-137. (in Russian)
15. **Shmelev G. D., Zhukova A. V., Burak E. E., Sazonov E. V.** *Analysis of the methodology for calculating the service life of building structures of operated buildings and structures.* Housing and communal infrastructure. 2023. No. 2(25). Pp. 9-18. (in Russian)
16. **Golovina N. V., Shmelev G. D.** *Comparative analysis of nonlinear forecasting models of residual resource and operability of structural elements of residential buildings.* Bulletin of MGSU. 2016. No. 5. Pp. 10-17. (in Russian)

Received 13 February 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Шмелев, Г. Д. Учет деградации материалов при проведении поверочных расчётов строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков, М. С. Кононова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 1(32). – С. 20-29. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.002.

FOR CITATION:

Shmelev G. D., Ishkov A. N., Kononova M. S. *Consideration of materials degradation during verification calculations of building structures.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 1(32). Pp. 20-29. DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.002. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.003

УДК 69.059.14

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ФУНДАМЕНТОВ НА НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

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 оценки технического состояния зданий старого фонда. Проведена оценка работоспособности фундаментов с выявлением влияния их состояния на надежность строительных конструкций зданий. Выполнены натурные экспериментальные исследования технического состояния фундаментов на примере многофункционального административного комплекса г. Москва, 1930 год постройки. Задачами исследования является определение прочностных характеристик фундаментов, исследование грунтов оснований фундаментов, выявление дефектов и повреждения фундаментов, определение категории технического состояния фундаментов. Приведен анализ выявленных дефектов и повреждений оснований и фундаментов. Представлены результаты инструментальных исследований оснований (георадарное обследование) и свайных фундаментов (ультразвуковое обследование). Представлены результаты построения геолокационного профиля для объекта исследования на примере сооружения гражданской обороны. Выполнена интерполяция георадиолокационных данных и построена карта вероятного разуплотнения грунтов. Определены параметры для обеспечения работоспособности фундаментов и, как следствие, надежности строительных конструкций. Приведены рекомендации по устранению выявленных дефектов и повреждений.

Ключевые слова: технический надзор; основания зданий; свайные фундаменты; дефекты конструкций; георадарное обследование; ультразвуковое обследование; техническое состояние конструкций.

В настоящее время в эксплуатации находится большое количество зданий и сооружений, входящих в состав старого фонда. Обследование строительных конструкций и фундамента старых зданий необходимо для оценки их технического состояния. Это позволяет выявить возможные дефекты и повреждения, определить степень износа конструкций, разработать рекомендации по ремонту и усилению объектов, а также оценить возможность дальнейшей эксплуатации здания [1, 2].

Важнейшим несущим элементом здания, ответственным за безопасность, является основание фундамента [3, 4]. Надёжность строительных конструкций напрямую зависит от работоспособности фундаментов [5, 6]. Неудовлетворительное состояние фундамента приводит к аварийному состоянию, а в особо тяжёлых случаях и к разрушению здания или сооружения [7, 8].

Длительная эксплуатация зданий и сооружений жилого, административного и промышленного назначения ввиду многообразия причин приводит к появлению в основаниях и фундаментах дефектов и повреждений различного характера [8, 9]. В рамках работ по оценке технического состояния несущих строительных конструкций и оснований зданий,

находящихся в течение длительного периода времени в условиях реальной эксплуатации и непосредственного воздействия внешней среды, необходимо выполнять обследования оснований и строительных конструкций, а также проводить поверочные расчеты, направленные на определение их реальной несущей способности [10].

С целью проведения оценки состояния фундамента и влияния его работоспособности на строительные конструкции здания выполнены натурные экспериментальные исследования на примере многофункционального административного комплекса г. Москва, 1930 год постройки. Здание неправильной формы, по признакам объемно-планировочных и конструктивных решений состоит из пяти смежных многоэтажных корпусов и одноэтажной пристройки. Корпуса образуют каре с внутренним двором.

Известно, что в период 1990...2000 гг. выполнена реконструкция крыши здания с заменой деревянных несущих конструкций на стальные, а также частичная замена чердачного перекрытия с мелкогабаритных ребристых плит на монолитное железобетонное перекрытие по несъемной опалубке. Частично выполнено усиление элементов каркаса 6-ого этажа. Далее и по настоящее время в здание велись ремонтные работы, в том числе выполнена замена полов на новые из монолитного железобетона.

Здание разноуровневое: один корпус подземный и семь надземных. Корпуса здания – 6-ти этажные с цокольным этажом и чердаком. В цокольном этаже одного из корпусов размещено бомбоубежище. Объемно-планировочное решение надземной части корпусов – коридорного типа с расположением помещений по обе стороны от коридора. Все корпуса связаны между собой сквозными коридорами и проходами. Имеется пристройка к корпусу – одноэтажная без подвала с отдельным входом. Максимальная длина здания составляет 180,15 м, ширина – 96,7 м.

Конструктивная схема обследуемого здания каркасная с железобетонным каркасом на 1...5 этажах и металлическим каркасом на 6 этаже и кирпичными стенами на 7 этаже. С цокольного по 5 этаж – монолитные железобетонные колонны квадратного сечения сечением от 250×50 мм до 600×600 мм. Колонны 6-го этажа – стальные. Подземный этаж, под частью здания, имеет отдельный конструктивный объем, выполненный из железобетонных конструкций, и предназначен для помещений гражданской обороны.

Перекрытия цокольного и 1...5 этажей монолитные железобетонные сплошные толщиной 80 мм. Наружные стены кирпичные самонесущие в пределах одного этажа.

Целью обследования является получение достоверных данных о техническом состоянии оснований и фундаментов здания по результатам визуального и инструментального обследований и оценка влияния их работоспособности на надежность строительных конструкций. Задачи исследования включают: определение прочностных характеристик фундаментов, исследование грунтов оснований фундаментов, выявление дефектов и повреждения фундаментов, определение категории технического состояния фундаментов.

Известно, что фундаменты колонн корпусов монолитные железобетонные ростверки по свайному основанию и монолитная железобетонная плита бомбоубежища в/о 3-1/Н-С толщиной 650...700 мм, сваи монолитные железобетонные забивные сечением 280×280 мм, ростверки высотой 1м. Фундаменты под наружные стены корпусов монолитные железобетонные балки, опирающиеся на ростверки.

Для оценки технического состояния фундаментов были выполнены шурфы, расположение которых приведено на рис. 1.

При проведении инструментальных измерений и обследования использованы следующие приборы и оборудование: дальнометры лазерные; измерители защитного слоя бетона; измерители прочности бетона; измерители прочности бетона методом отрыва со скалыванием, ультразвуковые толщинометры, георадары, штангенциркули.

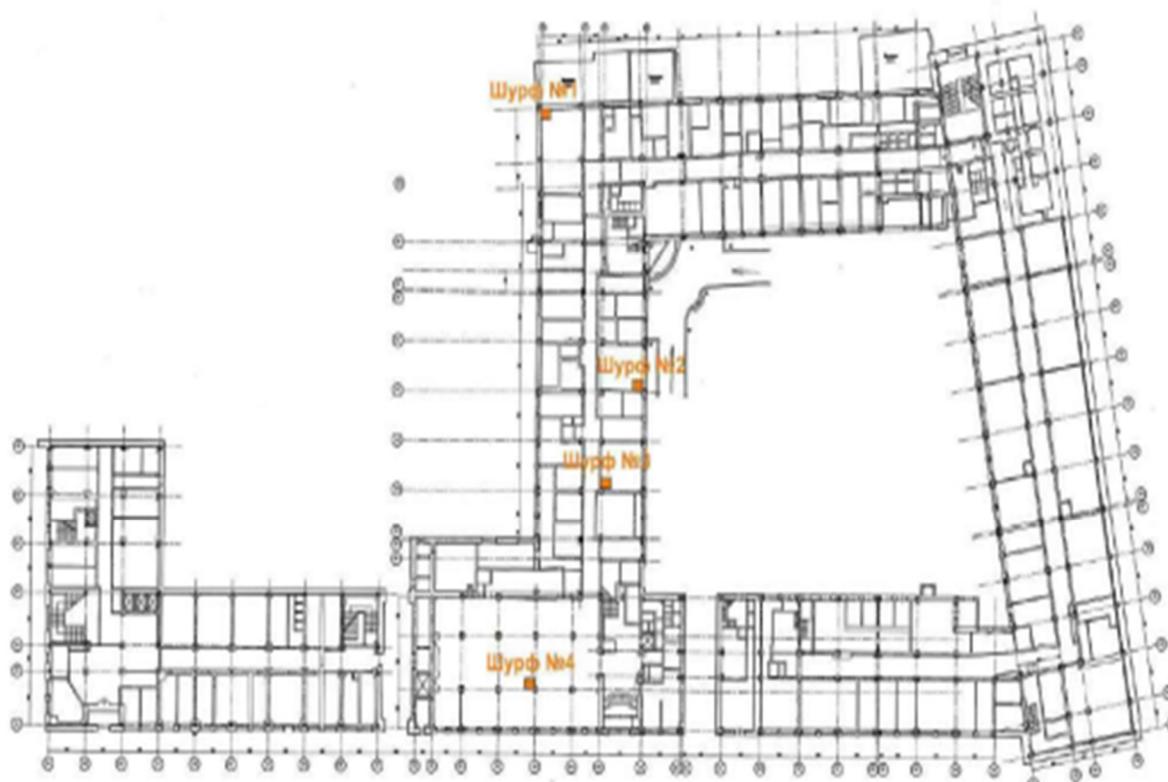


Рис. 1. Схема расположения шурфов

Для визуальной оценки состояния исследуемого объекта представлен вид конструкции в период проведения обследования (рис. 2). Выявлено, что в результате эксплуатации здания имеется просадка грунтового основания полов на 10...15 см.



Рис. 2. Вид просадки грунтового основания полов на исследуемом объекте

В результате обследования выявлено, что фундаменты колонн (внутренних и в наружных стенах) корпусов монолитные железобетонные, отдельно расположенные ростверки по свайному основанию, сваи монолитные железобетонные забивные сечением 280x280 мм, ростверки высотой 0,95...1,05 м, преимущественно высотой 1 м, ширина ростверков находится в пределах 2,0...2,3x1,3...1,6 м. Количество свай под ростверками варьируется от 4 до 6 шт. Высота ростверка так же варьируется от 1000 до 1050 мм. По наружным ростверкам выполнены монолитные фундаментные балки для опирания наружных кирпичных стен. Поперечное сечение фундаментных балок 650x400 (h). Под монолитные стены лестничной клетки выполнены монолитные фундаментные балки, для опирания перегородок цокольного этажа – фундаментные балки.

Также обнаружено, что непосредственно под подошвой ростверков залегают насыпной грунт – суглинки легкие тугопластичные с включением строительного мусора до 50 % с высоким содержанием органики и супесь пластичная с высоким содержанием органики. В основании полов находятся насыпные грунты с включением строительного мусора до 50 %. Полы цокольного этажа корпусов монолитные бетонные и железобетонные по грунтовому основанию. Грунтовые воды вскрыты тремя шурфами. Уровень грунтовых вод ниже пола цокольного этажа корпуса на 1,5...2 м.

Длина свай определена сейсмоакустическим методом с помощью цифрового ультразвукового импульсного прибора Pundit Lab со стандартными преобразователями.

В ходе проведения натурального эксперимента выполнено геофизическое обследование оснований, целью которого является оценка состояния грунтового массива основания здания для принятия решения о необходимости и целесообразности его укрепления. В ходе обследования были выполнены измерения по 12-ти георадарным профилям с помощью георадара ОКО-2, АБ-400МЗ, АБ-2500:МЗ. Часть профилей пройдены по периметру здания, другая часть пройдена внутри здания по полу цокольного этажа. Для исследований по грунтовому основанию была задействована антенная система АБ 400 с центральной частотой 400 МГц для, которая является оптимальной для обеспечения максимальной детальности при оптимальной глубинности исследований.

Кроме того, выполнены измерения еще по 20 георадарным профилям по полу сооружения гражданской обороны (бомбоубежище большое) и по 6 георадарным профилям по полу сооружения гражданской обороны (бомбоубежище малое). Для исследований по этим сооружениям была задействована антенная система АБ 1700 с центральной частотой 1700 МГц для, которая обеспечивает максимальную детальность исследований.

Выполнены аналитические исследования и построен геолокационный профиль (разрез). В результате исследования строительной конструкции с помощью георадиолокационного метода определены характеристики строительной конструкции:

- ✓ общее состояние грунтового массива, наличие в нем участков разуплотненного грунта;
- ✓ насыщенность грунтового массива инородными включениями (кабели, трубы и проч.);
- ✓ общую влажность грунтового массива;
- ✓ толщину фундаментной плиты под сооружениями гражданской обороны.

В результате обследования по георадиолокационным профилям выявлено наличие разуплотнений под полами здания на отдельных участках. Результаты построения геолокационного профиля (разреза) для объекта исследования на примере сооружения гражданской обороны показаны на рис. 3.

На основании данных, приведенных на геолокационном профиле (разрезе) для объекта исследования, выполнена интерполяция георадиолокационных данных и построена карта вероятного разуплотнения грунтов (рис. 4).

Таким образом, в результате геофизических исследований получены выводы и сделаны следующие рекомендации:

- ✓ имеется наличие разуплотнений под полами здания на отдельных участках, т.е. около 60 % площади основания полов здания приходится на разуплотненные неустойчивые грунты. Глубина разуплотненных грунтов около 2 м. На основании вышесказанного рекомендуется выполнить закрепление грунтов оснований полов цокольного этажа в корпусах инъекционным, струйным способами с использованием микроцемента;
- ✓ насыщенность грунтов инородными включениями незначительная. Крупных коммуникаций не обнаружено, что является удовлетворительным;
- ✓ определенная скорость электромагнитной волны 14,7 см/нс свидетельствует о хорошем состоянии железобетонных конструкций, что является удовлетворительным;

✓ толщина фундаментной плиты сооружений гражданской обороны (бомбоубежище) приблизительно составляет 1200 мм и 900 мм, что является удовлетворительным.

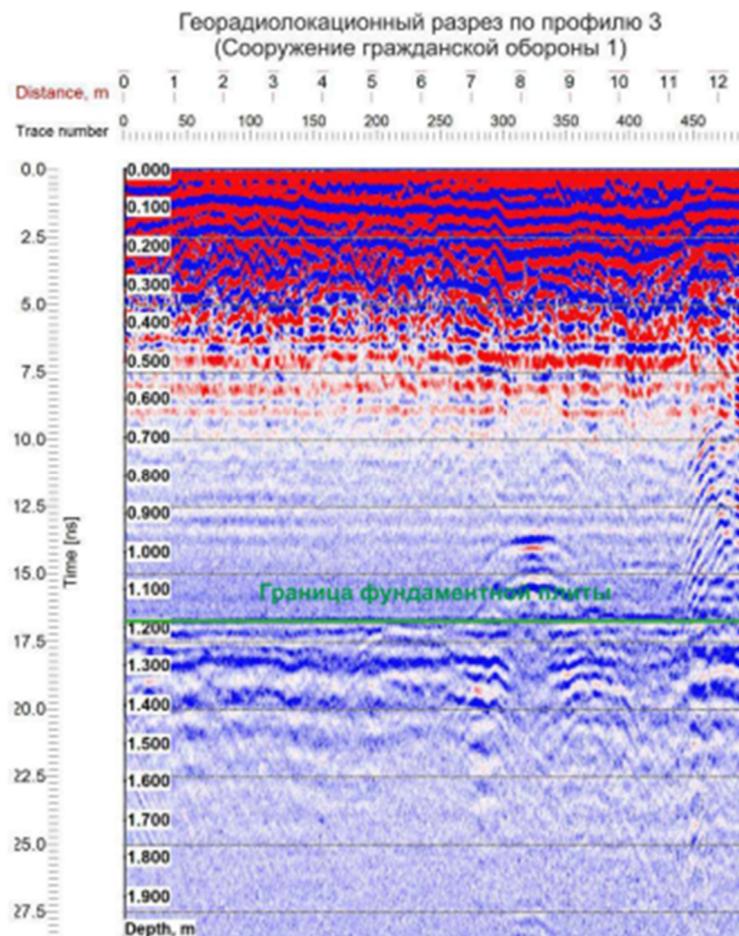


Рис. 3. Результаты построения геолокационного профиля (разреза) для объекта исследования (для сооружения гражданской обороны)

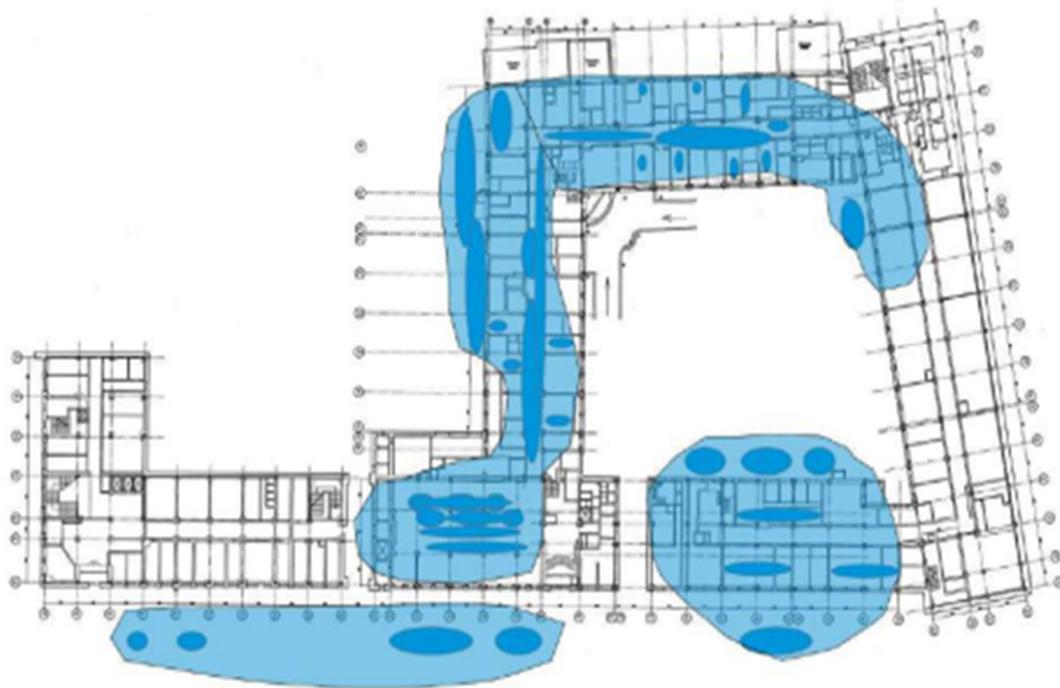


Рис. 4. Карта вероятного разуплотнения грунтов основания

Выполнен анализ результатов обследования фундаментов и грунтов, в результате которого выявлено:

- ✓ отсутствие гидроизоляции фундаментов;
- ✓ неравномерные осадки фундаментов, что выражается в горизонтальных трещинах шириной раскрытия 1...5 мм по наружной несущей стене одноэтажной пристройки к корпусу «Г». Причиной неравномерных осадок является недостаточная несущая способность ленточного фундамента на грунтовом основании с включениями техногенного грунта;
- ✓ интенсивная коррозия стальных фундаментных балок, воспринимающих нагрузку от перегородок цокольного этажа, с потерей площади поперечного сечения до 50 %. Дефект наиболее ярко выражен по балкам смонтированными над подпольными каналами;
- ✓ установлен фактический класс бетона по прочности на сжатие: железобетонных свай – в пределах Вф31... Вф34 (для поверочных расчетов принят класс по прочности на сжатие бетона В30); монолитных железобетонных фундаментных балок секций – в пределах Вф30 – Вф33 (для поверочных расчетов принят класс по прочности на сжатие бетона В30); монолитного ростверка – в пределах Вф31 – Вф32 (для поверочных расчетов принят класс по прочности на сжатие бетона В30); монолитной плиты секции – в пределах Вф37 (для поверочных расчетов принят класс по прочности на сжатие бетона В35).

Таким образом, определены параметры для обеспечения работоспособности фундаментов и, как следствия, надежности строительных конструкций, выполненные в ходе расчета наиболее нагруженного фундамента. Так как глубина забивки свай близка к глубине заложения известняков, расчет свайного фундамента выполнен на два типа свай: сваи-стойки и висячие сваи. Расчеты выполнялись в соответствии с требованиями нормативных документов, включенных в перечень национальных стандартов и сводов правил¹²³. По результатам расчетов установлено:

- ✓ несущая способность сваи-стойки составляет 114,1 тс. Несущая способность сваи-стойки по грунту обеспечена. Коэффициент использования $37,1/114,1=0.32$.
- ✓ несущая способность сваи-стойки составляет 59,9 тс. Несущая способность сваи-стойки по грунту обеспечена. Коэффициент использования $37,1/59,9=0.62$.
- ✓ несущая способность висячей сваи по грунту составляет 53,91 т. Несущая способность висячей сваи по грунту обеспечена. Коэффициент использования $37,1/53,91=0.69$. Несущая способность сваи по материалу обеспечена. Коэффициент использования по всему пакету комбинаций 0,368. Прочность по предельному моменту сечения. Предельное значение осадки куста свай, составляет 100мм. Прочность ростверка на продавливание угловой свай, а также по нормальным и наклонным сечениям обеспечена.

В результате визуального и инструментального обследования оснований и фундаментов объекта исследования получены данные по категориям работоспособности:

- ✓ техническое состояние фундаментов основного здания оценено как «работоспособное»;
- ✓ техническое состояние фундаментов одноэтажной пристройки к корпусу оценено как «ограниченно работоспособное».

¹ Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», утвержденный постановлением Правительства Российской Федерации от 4 июля 2020 года №985 (в дальнейшем Перечень №985)

² Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (с изменениями на 20 апреля 2021 года), утвержденный приказом Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии от 2 апреля 2020 года N 687 (в дальнейшем Перечень №687)

³ СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты» (с изменениями № 1, № 2, № 3) (часть положений включены в перечень №985 в п.15; включен в перечень №687 в п.213)

Для устранения выявленных дефектов и повреждений рекомендуется выполнить следующие действия:

✓ выполнить закрепление грунтов оснований полов цокольного этажа инъекционным, струйным способами с использованием микроцемента и/ (или) усиление фундаментов одноэтажной пристройки к корпусу;

✓ при сохранении существующей планировки цокольного этажа, выполнить замену или усиление 100 % фундаментных стальных балок, смонтированных над подпольными каналами.

Заключение.

Проведённая оценка технического состояния фундамента здания на основе комплексного применения георадарного и ультразвукового исследования позволила сформировать карту вероятного разуплотнения грунтов и обосновать решения о необходимости и целесообразности укрепления основания.

Определены параметры для обеспечения работоспособности фундаментов и, как следствие, надежности строительных конструкций. Полученные результаты позволяют разработать рекомендации по ремонту и усилению объектов, выполнение которых обеспечит сохранность строительных конструкций и исключит приведение здания к аварийному состоянию. Представленные рекомендации могут быть полезны при реконструкции, ремонте и дальнейшей эксплуатации зданий, относящихся к старому фонду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Добромыслов, А. Н.** Диагностика повреждений зданий и сооружений: Справочное пособие / А. Н. Добромыслов. – Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 256 с.

2. **Пешнина, И. В.** Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонного сборного каркаса с дефектами и повреждениями / И. В. Пешнина, А. Н. Пешнин, Е. О. Гаврилова // Символ науки. – 2021. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-napryazhenno-deformirovannogo-sostoyaniya-zhelezobetonogo-sbornogo-karkasa-s-defektami-i-povrezhdeniyami> (дата обращения: 11.09.2024).

3. **Крахмальный, Т. А.** Дефекты и повреждения грунтовых оснований промышленных зданий / Т. А. Крахмальный, С. И. Евтушенко // Строительство и архитектура. – Том 7. – Выпуск 3(24). – 2019. – С.45-49. – DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2019-7-3-45-49>.

4. **Морозов, А. С.** Организация и проведение обследования технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений / А. С. Морозов, В. В. Ремнева, Г. П. Тонких. – Москва, 2001. – 212 с.

5. **Шмелев, Г. Д.** Методика оценки технического состояния, прогнозирования и обоснования остаточного срока службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, М. С. Кононова, Н. А. Малева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 2(9). – С. 34-42.

6. **Шмелев, Г. Д.** Мониторинг и прогноз технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений / Г. Д. Шмелев, Э. В. Сазонов, М. С. Кононова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 9-18.

7. **Турбина, О. В.** Анализ повреждений и дефектов ремонтно-эксплуатационного блока компрессорной станции / О. В. Турбина, С. Д. Николенко, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Том 14. – № 4. – С. 106-114.

8. **Рогов, Н. Ю.** Моделирование процесса обследования железобетонных опор технологических эстакад / Н. Ю. Рогов, С. Д. Николенко, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Том 14. – № 1. – С. 68-73.

9. **Кораблин, С. Н.** Моделирование температурных напряжений в фундаментных плитах здания / С. Н. Кораблин, С. Д. Николенко, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13. – № 1. – С. 54-60.

10. Новые системы наблюдения и контроля дефектов и повреждений строительных конструкций / С. И. Евтушенко, Т. А. Крахмальний, В. В. Фирсов, В. А. Лепихова, М. А. Кучумов // Строительство и архитектура. – Том 8. – Выпуск 1(26). – 2020. – С. 11-18. – DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2020-8-1-11-18>.

Поступила в редакцию 28 февраля 2025

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF FOUNDATION OPERABILITY ON THE RELIABILITY OF BUILDING STRUCTURES

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: mzherlykina@cchgeu.ru

In the article we substantiate the relevance of the assessment of technical condition of buildings in the old building stock. We assessed the performance of foundations, identifying the impact of their state on the reliability of building structures. We carried out a full-scale experiment of the technical state of the foundations using the example of a multifunctional administrative complex in the city of Moscow, built in 1930. The objectives of the study are to determine the strength characteristics of the foundations, to study the soils of the foundations, to identify defects and damage to the foundations, to determine the category of the technical state of the foundations. We as well describe the revealed defects and damages of bases and foundations. We present the results of instrumental studies of foundations (GPR inspection) and pile foundations (ultrasound examination). We also present the results of constructing a geolocation profile for the research facility on the basis of the example of a civil defense structure. We collected the geo-radar data and created a map of probable soil decompression and determined the parameters for ensuring the serviceability of foundations and, as a result, the reliability of building structures. Finally we give some recommendations for the elimination of identified defects and damages.

Keywords: technical supervision; foundations of buildings; pile foundations; structural defects; GPR inspection; ultrasound examination; technical state of structures.

REFERENCES

1. **Dobromyslov A. N., Dobromyslov A. N.** *Diagnostics of damage to buildings and structures: A reference manual.* Moscow, Publishing House of the Association of Construction Universities. 2006. 256 p. (in Russian)

2. **Peshnina I. V., Peshnin A. N., Gavrilova E. O.** *Investigation of the stress-strain state of a reinforced concrete prefabricated frame with defects and damages.* Symbol of Science.

2021. No. 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-napryazhenno-deformirovannogo-sostoyaniya-zhelezobonnogo-sbornogo-karkasa-s-defektami-i-povrezhdeniyami> (date of reference: 09/11/2024). (in Russian)
3. **Krakhmalny T. A., Yevtushenko S. I.** *Defects and damage to the soil foundations of industrial buildings*. Construction and architecture. Volume 7. Issue 3(24). 2019. Pp.45-49. DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2019-7-3-45-49>(in Russian)
4. **Morozov A. S., Remneva V. V., Tonkikh G. P.** *Organization and conduct of a survey of the technical condition of building structures of buildings and structures*. Moscow, 2001. 212 p. (in Russian)
5. **Shmelev G. D., Kononova M. S., Maleva N. A.** *Methodology for assessing the technical condition, forecasting and substantiating the remaining service life of building structures*. Housing and communal infrastructure. 2019. No. 2(9). Pp. 34-42. (in Russian)
6. **Shmelev G. D., Sazonov E. V., Kononova M. S.** *Monitoring and forecasting of the technical condition of building structures of buildings and structures*. Housing and communal infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 9-18. (in Russian)
7. **Turbina O. V., Nikolenko S. D., Sazonova S. A.** *Analysis of damages and defects of the repair and maintenance unit of the compressor station*. Modeling of systems and processes. – 2021. Volume 14. No. 4. Pp. 106-114. (in Russian)
8. **Rogov N. Y., Nikolenko S. D., Sazonova S. A.** *Modeling of the inspection process of reinforced concrete supports of technological overpasses*. Modeling of systems and processes. 2021. Volume 14. No. 1. Pp. 68-73. (in Russian)
9. **Korablin S. N., Nikolenko S. D., Sazonova S. A.** *Modeling of temperature stresses in the foundation slabs of a building*. Modeling of systems and processes. 2020. Vol. 13. No. 1. Pp. 54-60. (in Russian)
10. **Yevtushenko 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. Volume 8. Issue 1(26). 2020. Pp. 11-18. DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2020-8-1-11-18>. (in Russian)

Received 28 February 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

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.

FOR CITATION:

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)

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES

DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.004

УДК 621.644.07

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УЧАСТКА МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

А. А. Кузьмина, Д. С. Бурлуцкий, Н. В. Колосова

Кузьмина Анастасия Александровна, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(915)619-25-57; e-mail: kuzmina.an5@yandex.ru

Бурлуцкий Денис Сергеевич, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(904)530-62-25; e-mail: danynax228@list.ru

Колосова Нелли Викторовна, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.+7(473)271-53-21 5714; e-mail: nkolosova@cchgeu.ru

Рассмотрены варианты повышения пропускной способности, способы их внедрения, применимость к конкретным случаям, преимущества и недостатки. В процессе длительной эксплуатации трубопровода под действием эксплуатационных факторов происходит постепенное разрушение материала труб. Рассмотрены особенности наиболее распространённых методов увеличения пропускной способности нефтепровода: возведение дополнительных нефтеперекачивающих станций (НПС); изменение мощности оборудования внутри НПС, замена рабочих колёс насосов; повышение рабочего давления; строительство новой параллельной нитки нефтепровода; строительство вставок и лупингов различных диаметров; применение противотурбулентных присадок, очистка трубопровода от асфальтосмолопарафинистых отложений. Для выбора наиболее правильного и выгодного варианта увеличения пропускной способности необходимо выявить особенности каждого метода и сопоставить плюсы и минусы всех вариантов.

Ключевые слова: нефтепровод; лупинг; гидравлические потери; насосная станция; противотурбулентная присадка; вставка на трубопровод.

В процессе эксплуатации нефтепроводов может возникнуть необходимость увеличения их пропускной способности. Причинами возникновения повышения пропускной способности могут быть разными, например, строительство нового нефтеперерабатывающего завода в районе пролегания технологического участка или же повышение добычи нефти на месторождениях.

Такая ситуация возникает, даже если трубопровод находится не в сложно-напряженном состоянии, а работает в режиме статической прочности при действии всех нагружающих факторов. При увеличении мощности нефтепроводов в процессе эксплуатации неминуемо растет нагрузка на трубу, что ускоряет процесс разрушения металла труб. Для продления срока службы трубопровода в данных ситуациях необходимы изменения в параметрах эксплуатации трубопроводной системы. Рассмотрим основные методы повышения технологической производительности.

Увеличение числа насосных станций.

Данный метод является удобным и рациональным, если эксплуатация отдельных участков нефтепровода происходит отдельно и разные календарные сроки. Совсем дру-

гая ситуация, когда режим работы нефтепровода постоянный и определен в ходе выполнения проектных работ, а также рассчитана и зафиксирована очередность включения агрегатов и станций. Если ставится задача рассмотрения варианта увеличения пропускной способности в период, когда нефтепровод работает в проектном режиме, необходимо рассчитывать варианты расстановки новых перекачивающих станций, капитальные вложения в строительство станций и сроки окупаемости данных инвестиций [1].

Наиболее рациональным является удвоение числа станций, когда перегоны между станциями сокращаются примерно вдвое. Однако в таком случае повышение производительности будет иметь существенное изменение, что приводит к смещению рабочей точки насосов за пределы рабочих зон и необходимости замены большинства насосного оборудования на станциях.

Зачастую, длина перегона на технологическом участке трубопровода составляет менее 100 км, поэтому строительство новой перекачивающей станции становится ещё более проблематичным и ресурсозатратным вариантом. Так же, при увеличении числа насосных станций, рабочее давление в трубопроводе сильно возрастает – ещё одна причина, по которой данный метод неосуществим в проектном режиме работы технологического участка, так как трубы рассчитаны на рабочее давление, с которым уже ведётся перекачка [2].

Экономические выводы по данному методу выведем в таблицу.

Экономические выводы целесообразности замены насосного оборудования [3]

Количество насосов, шт	1	2	3	4	5	6	7	8
Затраты на оптимизацию, млн. руб.	1,49	3,09	4,51	5,95	7,49	9,02	10,41	12
Увеличение производительности, млн т/год	3,01	4,62	6,25	7,39	8,38	9,19	10,0	10,65
Окупаемость, лет	1	1	2	2	3	3	4	4

Замена рабочих колёс насосов.

Такой вариант увеличения пропускной способности нефтепровода может быть использован на недогруженных нефтепроводах, когда есть большой запас по несущей способности трубопровода и при необходимости увеличения пропускной способности на относительно небольшую величину.

Технические характеристики насоса (производительность Q , напор H) напрямую зависят от диаметра рабочих колёс. Допустим, что исходное рабочее колесо имеет диаметр D_0 и его характеристики имеют следующий вид: $H = F \cdot Q$, тогда замена рабочего колеса на рабочее колесо большего диаметра приведет к следующему:

$$H = \left(\frac{D_1}{D_0}\right)^2 \cdot F \left(Q \frac{D_0}{D_1}\right). \quad (1)$$

Это означает, что диаграмма характеристик насоса будет расширяться в $(D_1/D_0)^2$ раза в направлении оси напора и (D_1/D_0) раз в направлении оси расхода. В частности, если $F = a - b \cdot Q^2$, то рабочие характеристики после замены рабочего колеса будут следующими:

$$H = a \cdot \left(\frac{D_1}{D_0}\right)^2 - b \cdot Q^2. \quad (2)$$

где a , b – направление осей напора и расхода соответственно на диаграмме характеристик насоса.

В описанном методе повышения эффективности необходимо учитывать экономические расходы, такие как: капитальные затраты на замену рабочих колёс, затраты на элек-

троэнергию. Также следует учитывать срок окупаемости при условии относительно небольшого повышения КПД.

Этот метод весьма специфичен, и эффективен при определенных, конкретных условиях. Работоспособность системы требует развития, т.е. становление нового качества, состояния и функциональности системы [4].

Сооружение вставок.

Строительство вставок большего диаметра подразумевает снижение потерь напора, то есть не ведёт к повышению рабочего давления в трубопроводе. Вставкой называют участок с увеличенным значением диаметра трубопровода на один или два стандартных размера и имеющий ограниченную длину участка (рис. 1).

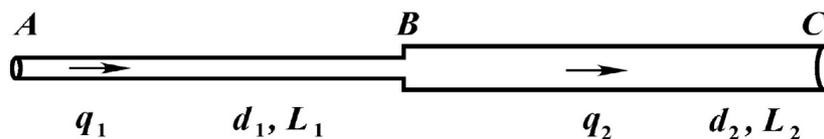


Рис. 1. Схема участка трубопровода со вставкой

При сооружении вставки меняются характеристики работы трубопровода по следующим закономерностям:

$$\begin{cases} q_1 = q_2 = Q; \\ h_{AC} = h_{AB}^{(1)} + h_{BC}^{(2)}. \end{cases} \quad (3)$$

Для осуществления такого метода повышения пропускной способности необходима длительная остановка для проведения работ по монтажу вставки, что невозможно при работе нефтепровода на проектном режиме перекачки. Кроме того, наличие вставок на трассе трубопровода затрудняет пропуск по нему диагностических и очистных устройств, что с технологической точки зрения так же нецелесообразно [5].

Сооружение параллельной нитки нефтепровода.

Данный метод подразумевает потребность в существенном изменении пропускной способности технологического участка, повышение производительности несоизмеримо с капитальными вложениями в строительство новой нитки нефтепровода. Данный вариант увеличения пропускной способности экономически нецелесообразен так, как имеет большой срок окупаемости. [6]

Применение противотурбулентных присадок.

Этот метод также относится к методам снижения гидравлического сопротивления труб без повышения рабочего давления. Гидравлическое сопротивление снижается за счёт гашения турбулентных пульсаций (рис. 2). Представляют собой некие суспензии или гели, которые вводятся в поток нефти на перекачивающих станциях [7].

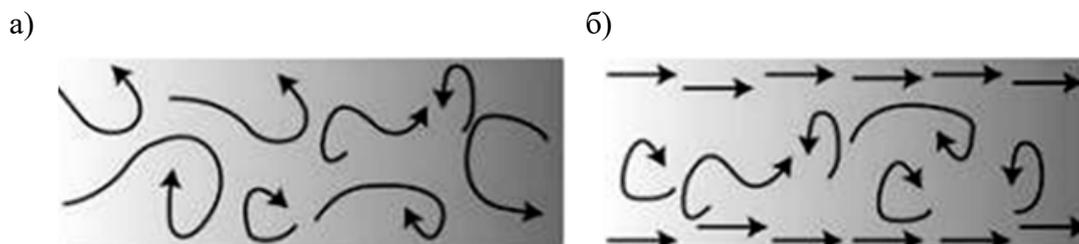


Рис. 2. Схема движения потока:

а – без присадок; б – с противотурбулентной присадкой

Следует учитывать также, что при прохождении через насосы на следующей перекачивающей станции присадки разрушаются. Поэтому требуется постоянный ввод присадок в поток нефти, дополнительные капитальные затраты на сооружение и установку спе-

циального оборудования на каждой перекачивающей станции технологического участка, эксплуатационные затраты на закупку присадок и обслуживание специального оборудования.

Производители дают гарантию на высокую эффективность присадок в пределах поля, ограниченного двумя кривыми на графике, которые, в свою очередь, соответствуют наибольшей и наименьшей вязкости продукта. Пример графической зависимости эффективности противотурбулентной присадки в потоке перекачиваемой жидкости представлен на рис. 3.

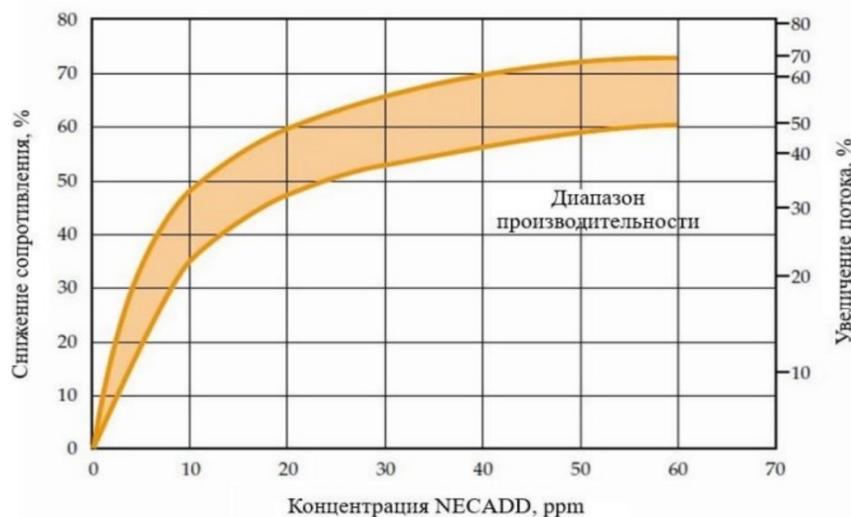


Рис. 3. График эффективности противотурбулентной присадки фирмы NECADD [7]

Данный метод не всегда подходит, так как обеспечивает лишь временное повышение пропускной способности, а также требует сооружения и обслуживания дополнительного оборудования [7].

Сооружение лупинга.

Так же, как и сооружение вставок, данный метод подразумевает снижение потерь на трение. Лупинг – трубопровод, прокладываемый на части линейного участка нефтепровода параллельно основной нитке и соединённый с ним. При этом при входе в лупинг из-за раздвоения потока нефти расход в каждой ветви уменьшается, а значит, уменьшаются и потери на всём участке [8].

Лупинг прокладывается в конечной части линейного участка, где меньшие значения давлений, а также для обеспечения повышенного подпора в случае, когда до строительства лупинга на линейном участке был самотёчный участок. Пропускная способность после прокладки лупинга:

$$q_1 = q / \sqrt{1 - \frac{l_{\text{л}}}{l} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{[1 - (D_{\text{л}} / D)^{2,6}]^2} \right\}}, \quad (4)$$

где q – пропускная способность до прокладки лупинга, млн. м³/сут.; $l_{\text{л}}$, l – длина перегона газопровода и лупинга, км; $D_{\text{л}}$, D – диаметр основной нитки и лупинга, мм.

В отличие от сооружения вставок, сооружать лупинг можно без остановки перекачки в основной ветви нефтепровода, а присоединение лупинга к нефтепроводу не занимает много времени и может быть осуществлено в периоды регламентированных остановок перекачки. Данный вариант повышения пропускной способности реализуем при исключении предыдущих вариантов и проведении технико-экономического обоснования [9, 10].

Заключение.

На основе анализа рассмотренных способов повышения пропускной способности магистральных трубопроводов можно сделать вывод, что наиболее целесообразным будет сооружение лупингов, так как они могут быть присоединены к основному нефтепроводу в период регламентированных остановок перекачки.

Методы, связанные с повышением рабочего давления, не подходят, так как нефтепровод чаще всего работает в проектом режиме, имеет стратегическое значение и остановка перекачек на длительные промежутки времени с целью модернизации труб с большей несущей способностью, а также для монтирования вставок, невозможна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Зайцев, Л. А.** Регулирование режимов магистральных нефтепроводов / Л. А. Зайцев, Г. С. Ясинский. – Москва: Недра, 1980. – 187 с.
2. **Стрюк, С. О.** Способы повышения энергоэффективности магистрального трубопровода // Молодой учёный. – 2018. – № 4(190). – С. 54-55.
3. **Колосова, Н. В.** Социокультурные факторы инновационного развития экономических систем / Н. В. Колосова // Организатор производства. – 2020. – № 1. – С. 99-104.
4. **Газизов, Р. Э.** Трубопроводный транспорт тяжелой нефти и битумов / Р. Э. Газизов, Н. Л. Солодова, Б. Р. Ваганов // Вестник технологического университета. – Том 20. – 2017. – Вып. 10. – С. 17-21.
5. **Чертыковцев, В. В.** Методы повышения производительности магистральных нефтепроводов / В. В. Чертыковцев // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 44. – С. 1093-1098.
6. **Газизов, М. М.** Способы увеличения производительности участка магистрального нефтепровода / М. М. Газизов, Г. М. Орлова // Тенденции развития науки и образования. – 2019. – № 56-1. – С. 19-20.
7. **Бархатов, А. Ф.** Противотурбулентная присадка как один из способов снижения капитальных и эксплуатационных затрат / А. Ф. Бархатов, П. Е. Настепанин // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2014. – Вып. 3(15). – С. 18-26.
8. **Алиев, Р. А.** Трубопроводный транспорт нефти и газа / Р. А. Алиев. – Москва: Недра, 2018. – 368 с.
9. **Воробьев, В. А.** Исследование методов повышения эффективности эксплуатации и прогнозирования нештатных ситуаций магистральных нефтепродуктопроводов: дис. канд. тех. наук :25.00.19 / Валерий Александрович Воробьев. – Уфа, 2002. –135 с.
10. **Технологический расчёт линейных участков магистральных газопроводов** Учебно-методическое пособие / Н. В. Колосова, А. И. Колосов, С. Г. Тульская, Е. С. Аралов. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, ЭБС АСВ. – 2021. – 100с.

Поступила в редакцию 26 декабря 2024

**INCREASING OF THE PRODUCTIVITY OF THE TECHNOLOGICAL SECTION
IN THE MAIN OIL PIPELINE**

A. A. Kuzmina, D. S. Burlutsky, N. V. Kolosova

Anastasia Aleksandrovna Kuzmina, student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(915)619-25-57; e-mail: kuzmina.an5@yandex.ru

Denis Sergeevich Burlutsky, student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(904)530-62-25; e-mail: danynax228@list.ru

Nelli Viktorovna Kolosova, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-53-21 5714; e-mail: nkolosova@cchgeu.ru

The article considers options for increasing the throughput capacity, methods of their implementation, applicability to specific cases, advantages and disadvantages. During long-term operation of the pipeline, under the influence of operational factors, the pipe material gradually deteriorates. The article considers the features of the most common methods for increasing the throughput capacity of the oil pipeline: construction of additional oil pumping stations (OPS); changing the capacity of the equipment inside the OPS, replacing the pump impellers; increasing the working pressure; construction of a new parallel line of the oil pipeline; construction of inserts and loops of various diameters; use of antiturbulent additives; cleaning the pipeline from asphalt, resin and paraffin deposits. To select the most correct and profitable option for increasing the throughput, it is necessary to identify the features of each method and compare the pros and cons of all options.

Keywords: oil pipeline; looping; hydraulic losses; pumping station; anti-turbulence additive; pipeline insert.

REFERENCES

1. **Zaitsev L. A., Yasinsky G. S.** *Regulation of main oil pipeline modes*. Moscow, Nedra. 1980. 187 p. (in Russian)
2. **Stryuk S. O.** *Methods for Improving the Energy Efficiency of a Main Pipeline*. Young Scientist. 2018. No. 4(190). Pp. 54-55. (in Russian)
3. **Kolosova N. V.** *Sociocultural factors of innovative development of economic systems*. Organizer of production. 2020. No. 1. Pp. 99-104. (in Russian)
4. **Gazizov R. E., Solodova N. L., Vaganov B. R.** *Pipeline transportation of heavy oil and bitumen* / R. E. Gazizov. Bulletin of the Technological University. Vol. 20. 2017. Issue. 10. Pp. 17-21. (in Russian)
5. **Chertykovtsev V. V.** *Methods for increasing the productivity of main oil pipelines*. Innovations. Science. Education. 2021. No. 44. Pp. 1093-1098. (in Russian)
6. **Gazizov M. M., Orlova G. M.** *Ways to increase the productivity of a section of a main oil pipeline.* Trends in the development of science and education. 2019. No. 56-1. Pp. 19-20. (in Russian)
7. **Barkhatov A. F., Nastepanin P. E.** *Anti-turbulence additive as one of the ways to reduce capital and operating costs*. Science and technologies of pipeline transportation of oil and oil products. 2014. Issue. 3(15). Pp. 18-26. (in Russian)
8. **Aliyev R. A.** *Pipeline transport of oil and gas*. Moscow. Nedra. 2018. 368 p. (in Russian)
9. **Vorobyov V. A.** *Study of methods for improving the efficiency of operation and forecasting emergency situations of main oil pipelines*: diss. Cand. of Tech. Sciences: 25.00.19. Valery Aleksandrovich Vorobyov; Ufa, 2002. 135 p. (in Russian)
10. **Kolosova N. V., Kolosov A. I., Tulsakaya S. G., Aralov E. S.** *Technological calculation of linear sections of main gas pipelines. Textbook-method manual*. Voronezh, Voronezh State Technical University, EBS DIA. 2021. 100p. (in Russian)

Received 26 December 2024

Для цитирования:

Кузьмина, А. А. Повышение производительности технологического участка магистрального нефтепровода / А. А. Кузьмина, Д. С. Бурлуцкий, Н. В. Колосова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 1(32). – С. 39-44. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.004.

FOR CITATION:

Kuzmina A. A., Burlutsky D. S., Kolosova N. V. *Increasing of the productivity of the technological section in the main oil pipeline*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 1(32). Pp. 39-44. DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.004. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.005

УДК 621.643: 621.318

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Г. С. Сериков, И. А. Серикова

Сериков Георгий Сергеевич, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(980)232-92-21; e-mail: georgy301212@gmail.com

Серикова Ирина Алексеевна канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(910)248-03-96; e-mail: sirina301212@gmail.com

Рассмотрены технологические задачи теплогазоснабжения, связанные с необходимостью постоянного мониторинга магистральных трубопроводных транспортных систем с применением мобильных модулей. Автоматизация процесса зарядки тяговых аккумуляторных батарей автономных мобильных модулей диагностики состояния различных объектов с помощью технологии бесконтактной передачи энергии позволяет существенно повысить функциональность и гибкость применения систем дистанционного зондирования при построении замкнутых экосистем теплогазоснабжения. При применении автоматизированной системы бесконтактной зарядки тяговых батарей появляется возможность построения наиболее функционального комплекса автоматического обслуживания магистральных трубопроводных систем. Приведены различные методы повышения точности взаимного позиционирования приёмной и предающей катушек индуктивности. Объект исследования – станции мониторинга состояния магистральных трубопроводных систем теплогазоснабжения. Предмет исследования – моделирование и статистический анализ работы системы энергообеспечения автономных мобильных модулей. Цель работы – повышение эффективности и безопасности мониторинга магистральных трубопроводных систем. Разработанные предложения направлены на повышение качества и безопасности автоматизированного мониторинга магистральных трубопроводов.

Ключевые слова: магистральный трубопровод; мониторинг; мобильный модуль; бесконтактная зарядка; автоматизация; электропривод.

Мониторинг магистральных трубопроводов, объектов теплогазоснабжения и коммунального хозяйства, таких как коммуникации, здания и сооружения, протяжённые объекты, зачастую затруднен и потенциально опасен. Для наиболее качественной и полноценной оценки состояния наблюдаемых объектов необходима организация непрерывного наблюдения – мониторинга в реальном масштабе времени с автоматическим обновлением баз данных [1, 2]. Наиболее эффективно такую систему можно организовать на базе мобильных автономных транспортных модулей, применение которых связано с рядом ограничений, сопряжённых с минимизацией обслуживания для поддержания такого модуля в рабочем состоянии. Отслеживание параметров его технического состояния возможно с помощью уже существующей инфраструктуры беспроводной связи [3].

Одним из аспектов обслуживания является автономная автоматизированная система подзарядки. Основной проблемой использования автономных мобильных роботов при мониторинге протяжённых объектов, таких как магистральные трубопроводные системы, является ограниченный запас электрической энергии в накопителях, что существенно ограничивает расстояние обслуживания объектов теплогазоснабжения. Существует несколько способов решения этой проблемы. Среди них можно отметить повышение ёмко-

сти электрических накопителей [4] либо увеличение количества зарядных станций.

Использование способа контактной зарядки связано с определенными проблемами, например, поддержанием чистоты контактов. Реализация модуля позиционирования штекера относительно розетки также вызывает ряд трудностей. В этом случае сам модуль позиционирования представляет собой высокотехнологичную механическую систему, требующую высококвалифицированного обслуживания и непрерывного мониторинга с помощью теледиспетчеризации [5, 6].

Применение технологий бесконтактной передачи энергии позволяет существенно упростить реализацию автоматического поддержания уровня заряда тяговых батарей. Технология бесконтактной зарядки предусматривает применение передающей и приёмной катушек индуктивности [7]. Питание передающей катушки осуществляется синусоидальным генератором. При заряде тяговой батареи от приёмной катушки применяется электронный выпрямитель. Радиоканал управления между блоками излучателя и приёмника позволяет синхронизировать их работу [8].

Все элементы бесконтактной зарядки возможно укрыть вандалоустойчивой радиопрозрачной оболочкой, надежно защищающей их не только от атмосферных воздействий, но и от беспилотных летательных аппаратов, что позволят устанавливать такие зарядные модули в непосредственной близости от магистральных трубопроводных систем теплогазоснабжения. Такие базовые зарядные станции устойчивы к механическим повреждениям от тяжёлой спецтехники, которая также обслуживает эти магистрали. Кроме того, учитывая большую протяжённость магистральных трубопроводов, появляется возможность установки промежуточных точек подзарядки, что позволит существенно снизить необходимую ёмкость накопителей энергии и, в конечном итоге, мобильной сканирующей системы. В целом это снизит стоимость обслуживания трубопроводных магистральных систем. Единственным внешним разъёмом является силовая кабель.

Установка в плоскости грунта снимает вопрос механической прочности и эстетичной привлекательности. Экранирование передачи энергии и данных автоматизированным мобильным модулям мониторинга трубопроводных систем теплогазоснабжения предотвращает злоупотребления и манипуляцию данными энергетического расхода как благодаря максимальной неприступности зарядной техники во время процесса, так и малой распространённости протоколов индуктивной коммуникации.

Основной проблемой применения бесконтактной зарядки является высокая чувствительность эффективности передачи энергии от коллинеарной приёмной и передающей катушек. Такие системы контроля трубопроводных систем теплогазоснабжения, оснащённых дополнительными средствами помощи позиционирования, позволяют повысить эффективность процесса зарядки тяговых батарей автоматизированных мобильных модулей мониторинга.

Кинематика подразумевает механические перемещения, связанные с затратами энергии, изнашиванием и риском нарушения функционирования системы позиционирования. Фиксированные расстояния между датчиками положения на зарядной стороне мобильного модуля предъявляют высокие требования к стандартизации на стороне мобильных автоматических систем. Достигнутый таким образом оптимальный результат позиционирования обеспечивает максимальную эффективность передачи энергии, которая, однако, снижается вследствие затрат энергии на работу механической системы позиционирования и высоких затрат на изготовление, монтаж и техническое обслуживание.

Рассматриваемые системы, основанные на видеокамерах, или системы наблюдения/отслеживания с помощью оптических приборов зависят от условий освещённости и качества распознавания объектов машинным зрением, а также от способности системы интерпретировать увиденное. Недостаточная освещённость приводит к ошибкам позиционирования. Кроме того, точность измерения расстояния и определение места расположе-

ния приёмной и передающей катушек зарядной станции с помощью обработки изображения ниже, чем у радара.

Мобильный модуль для мониторинга магистральных трубопроводных транспортных систем заезжает на индуктивный диск с любой стороны и автоматически распознает зарядную катушку с помощью предварительно настроенного режима поиска радаром.

Во время процесса заезда, который длится приблизительно 20 с, проводится обмен данными об уровне заряда и определение режима заряда.

При этом основные алгоритмы управления системой мониторинга магистральных трубопроводных транспортных систем обеспечения заряда гарантируют, что:

- ✓ остаточная емкость, заданная обслуживающим персоналом, будет подзаряжаться только во время действия наиболее благоприятных ночных тарифов на электроэнергию;
- ✓ в установленные оператором периоды времени будет обеспечен максимальный заряд, с предварительным прогревом батарей при необходимости [9];
- ✓ в момент отправления к месту назначения, введенному оператором при парковке, заряд будет достаточный для движения к месту назначения;
- ✓ автоматическое протоколирование энергопотока зарядной станции, продолжительности зарядки и емкости батареи.

Таким образом, операторам значительно проще контролировать эффективность работы зарядной станции и подбирать подходящий профиль графика работы мобильной платформы сканирования технического состояния магистральных трубопроводных систем теплогазоснабжения в зависимости от задания [10].

Составим математическую модель беспроводной зарядной станции.

Оценить уровень влияния несоосности приёмной и передающей катушек на коэффициент передачи электрической энергии можно с помощью следующей математической модели, описывающей процессы, происходящие в системе.

По схеме замещения беспроводной зарядной станции модель разделяется на цепь источника и цепь приемника мощности, согласно рис. 1.

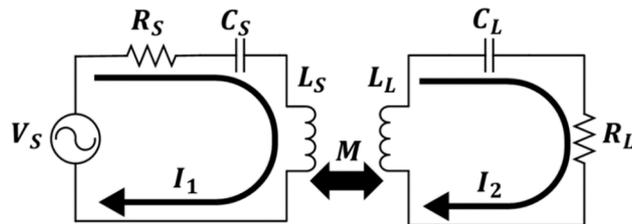


Рис. 1. Схема замещения силовой части схемы беспроводной станции

Эффективность работы системы передачи мощности от катушки излучения P_S к приёмной катушке P_L , беспроводным методом определяется следующим образом:

$$\eta = \frac{P_L}{P_S}, \quad (1)$$

где P_S и P_L определяются выражениями (2) и (3) соответственно.

$$P_S = I_1 V_S = \left(\frac{P_L + \frac{1}{j\omega C_L} + j\omega L_L}{j\omega M} I_2 \right) V_S. \quad (2)$$

$$P_L = I_2 V_L = I_2^2 R_L = \left(\frac{j\omega M}{R_L + \frac{1}{j\omega C_L} + j\omega L_L} I_1 \right)^2 R_L \quad (3)$$

На рис. 2 приведена трехмерная модель катушек.

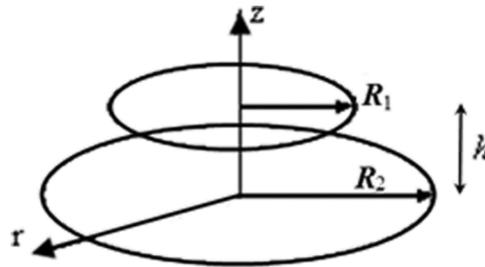


Рис. 2. Трехмерная модель катушек

Взаимная индуктивность двух коаксиальных витков определяется по зависимостям:

$$M = \mu_0 \sqrt{R_1 R_2} \frac{2}{k} \left[\left(1 - \frac{k^2}{2} \right) K(k) - E(k) \right], \quad (4)$$

$$k = \sqrt{\frac{4R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2 + h^2}}. \quad (5)$$

где $K(k)$ и $E(k)$ – эллиптические интегралы первого и второго порядка.

Взаимное расположение катушек в пространстве показано на рис. 3.

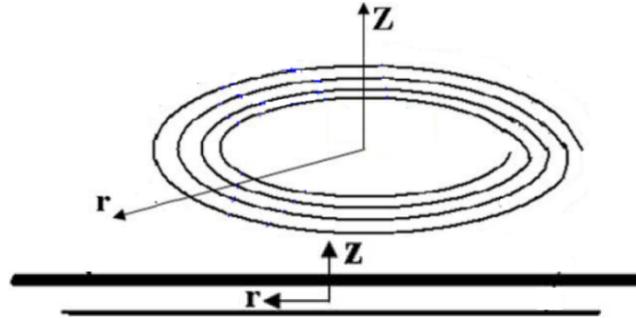


Рис. 3. Взаимное расположение катушек в пространстве

Общая картина распределения напряжения магнитного поля показана на рис. 4.

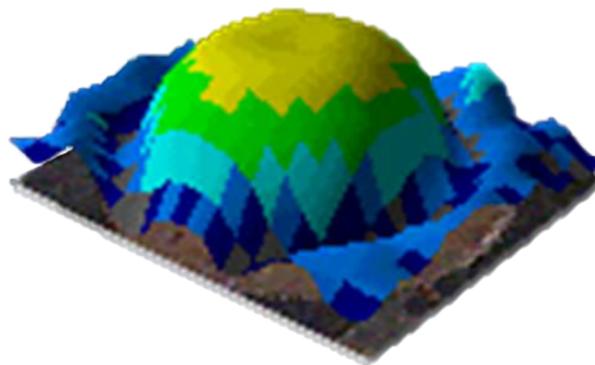


Рис. 4. Распределение напряжения магнитного поля бифилярной катушки

Зависимость магнитной связи приёмной и передающей бифилярных катушек при смещении катушек от оси симметрии изображена на рис. 5.

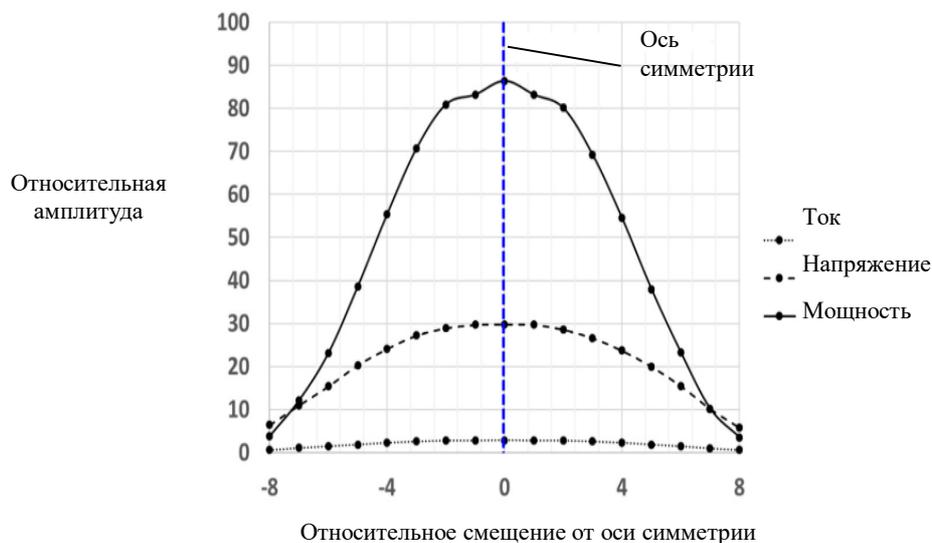


Рис. 5. Зависимость магнитной связи приёмной и передающей бифилярных катушек при смещении катушек от оси симметрии

При смещенном расположении катушек от центральной оси симметрии эффективность системы уменьшается согласно зависимости, которая приведена на рис. 5.

Моделирование работы системы позиционирования. Применение системы помощи позиционирования в бесконтактной зарядке позволяет существенно повысить уровень магнитной связи при передаче энергии. Определимся с необходимыми функциями. В рассмотренных системах зарядки возможно применение как полностью автоматических позиционирующих механизмов, так и способов с привлечением для позиционирования самих транспортных модулей. Очевидно, что для наиболее точного позиционирования механизм перемещения должен иметь несколько степеней свободы и выдерживать достаточную точность линейных перемещений, что очевидно скажется на стоимости и экономической эффективности. Таким образом, если использовать «гибридную» систему, в которой первоначально приёмная катушка располагается над передающей с помощью мобильного модуля с некоторой точностью, а затем стационарная механическая система доводит соосность до максимально достижимых значений.

Управление «гибридной» системой подразумевает применение различных приемопередающих модулей, так и контроллеров исполнительных механизмов.

Работа программы управления исполнительными механизмами была промоделирована в системе PROTEUS. Имитация обратной связи с помощью датчиков положения осуществлялась посредством интерактивного моделирования, изменяя положения виртуальных ползунков. Для отладки программы текущая служебная информация выводилась на экран жидкокристаллического индикатора. Светодиодные индикаторы отображают текущие режимы работы.

Использование графического принципа составления разработанных схем с помощью пакета программ схемотехнического моделирования PROTEUS существенно ускоряет и упрощает процесс отладки и проверки функционирования (рис. 6).

Применение виртуального осциллографа позволяет наблюдать форму и фазы электрических сигналов при работе модели (рис. 7).

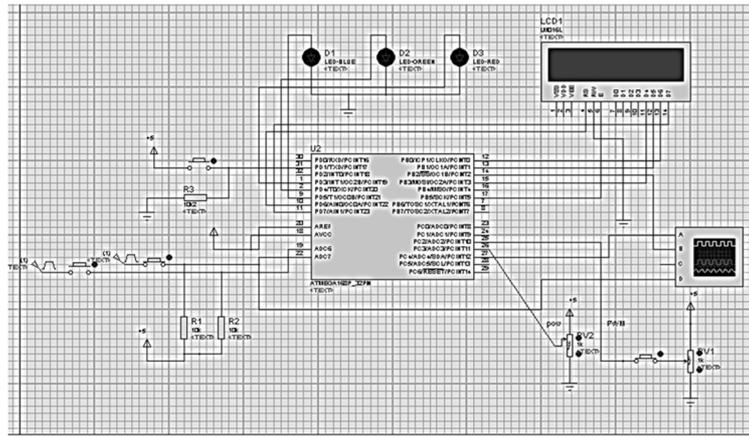


Рис. 6. Графическая модель разработанной системы

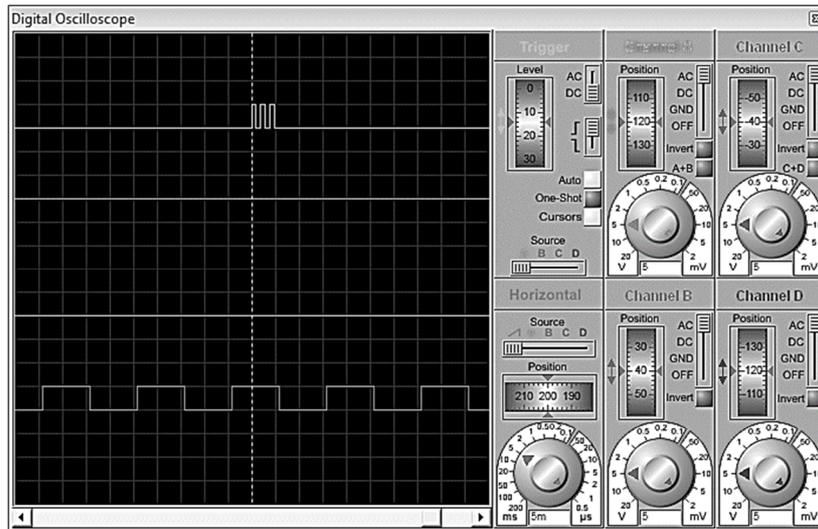


Рис. 7. Внешний вид виртуального осциллографа

Физическое моделирование позволяет установить степень корреляции разработанной модели её реальной реализации. В качестве источника питания для излучающей катушки применялся генератор в частотном диапазоне 30...50 кГц. Уровень подаваемой мощности регулируется изменением скважности ШИМ сигнала (рис. 8).

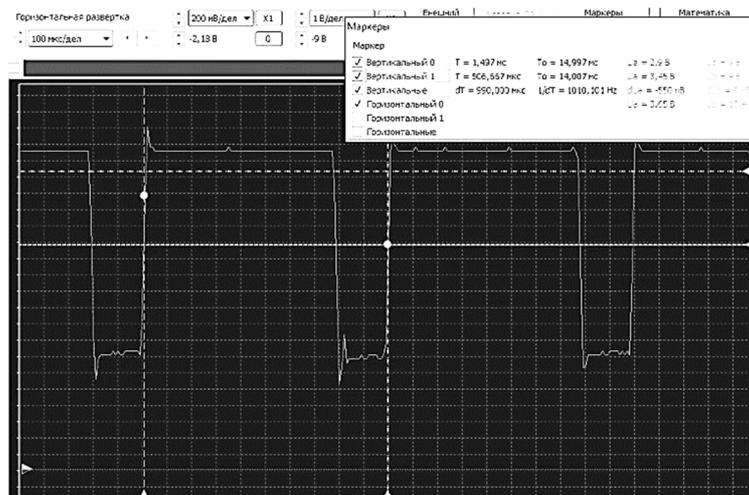


Рис. 8. Диаграмма широтно-импульсного сигнала

Эксплуатация электрических приборов требует наличия заземления. Качество заземления проверяется с помощью вспомогательной функции, заложенной в систему бесконтактной зарядки. При включении зарядного устройства во время ожидания и в режиме зарядки происходит постоянное сканирование потенциала нулевого и фазного провода относительно вывода заземления (рис. 9).

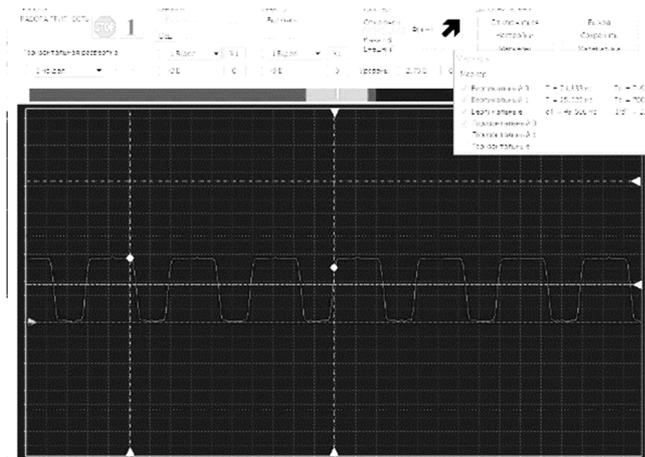


Рис. 9. Осциллограмма работы системы сканирования наличия заземления

Применение беспроводной зарядки имеет ряд преимуществ:

- ✓ основное преимущество беспроводной технологии состоит в совместимости между зарядными устройствами и транспортными модулями от разных производителей;
- ✓ генерируется неионизирующее излучение, которое не опасно для человека в ограниченном объёме;
- ✓ беспроводная технология значительно снижает влияние человеческого фактора в процессе работы всей системы;
- ✓ все соединения защищены от коррозии;
- ✓ беспроводной передатчик может быть выполнен полностью герметичным, что обеспечивает высокую вандалостойкость.

Заключение.

Проведен анализ решений построения бесконтактных станций автономной зарядки электрических накопителей энергии мобильных модулей автоматического мониторинга трубопроводных систем теплогазоснабжения.

На основе анализа зависимости эффективности бесконтактной передачи энергии от несоосности между приёмной и передающей катушками были определены необходимые защитные функции зарядных устройств. Указаны вспомогательные сервисные возможности, которые можно применять при эксплуатации зарядного устройства.

Проведено моделирование и статистический анализ работы рассмотренной системы беспроводной зарядки. Автоматизация процессов зарядки мобильных модулей с помощью технологии бесконтактной зарядки позволяет существенно повысить качество мониторинга магистральных трубопроводных систем теплогазоснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бушмелева, К. И. Система мониторинга газотранспортных объектов / К. И. Бушмелева, С. У. Увайсов // Надёжность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 84-87.
2. Распределённая система контроля технологических объектов нефтегазовой промышленности на базе беспроводной сенсорной сети / Е. А. Барабанова, Д. Б. Мальцев,

В. Н. Есауленко, М. Ф. Руденко // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2017. – № 2. – С. 98-104.

3. Информационные контрольно-диагностические системы современных транспортных средств / Г. С. Сериков, И. А. Серикова, О. П. Смирнов, А. О. Борисенко // Автомобиль и Электроника. Современные технологии. Электронное научное специальное издание (печатная версия). – 2020. – № 17. – С. 62-68.

4. **Сериков, Г. С., Серикова, И. А.** Способ повышения дистанции автономного пробега электротранспорта. Пат. № u 2022 03752 (Украина), № 7826/3У/22 патентообладатель Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. - № u 2022 03752; заявл. 10.10.2022; - опубл. 17.10.2022, Бюл. № 10. – 2 с.

5. **Серикова, И. А.** Пути повышения автоматизации и эффективности организации строительства с привлечением современных систем теледиспетчеризации / И. А. Серикова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2024. – № 4(37). – С. 28-34.

6. **Сериков, Г. С.** Интеллектуальная система определения эффективности использования спецтехники энергоресурсов / Г. С. Сериков, И. А. Серикова // Новейшие технологии в автомобилестроении, транспорте и при подготовке специалистов: научные труды Международной научно-практической конференции, посвящённой 90-летию кафедры автомобилей им. А.Б. Гредескула. – Харьков, 2021. – С. 422-424.

7. Непосредственное возбуждение последовательного резонансного контура прямоугольными импульсами напряжения. Расчетные соотношения / Ю. В. Батыгин, А. Ю. Бондаренко, Е. Ф. Еремина, С. А. Шиндерук, Г. С. Сериков // Вестник Национального технического университета ХПИ. Серия: Техника и электрофизика высоких напряжений. – 2019. – № 18. – С. 3-7.

8. **Батыгин, Ю. В.** Резонансный усилитель электрической мощности. Основные расчётные соотношения / Ю. В. Батыгин, Г. С. Сериков, С. А. Шиндерук // Вестник Национального технического университета ХПИ. Серия: Проблемы усовершенствования электрических машин и аппаратов. Теория и практика: сборник научных трудов. – 2018. – №32. – С. 59-63.

9. **Сериков, Г. С.** Анализ систем термостабилизации литий-ионных тяговых батарей электромобилей / Г. С. Сериков, И. А. Серикова // Инновации в альтернативной энергетике: производство и накопление: Сборник тезисов докладов II Всероссийской конференции с международным участием. – Дубна, 2024. – С. 24-25.

10. **Серикова, И. А.** Структурная модель зарядной станции электромобилей с повышенным уровнем безопасности / И. А. Серикова // Автомобиль и Электроника. Современные технологии. Электронное научное специальное издание (печатная версия). – 2017. – № 12. – С. 24-28.

Поступила в редакцию 21 января 2025

IMPROVING THE PROCESS OF AUTOMATED MONITORING OF MAIN PIPELINE SYSTEMS

G. S. Serikov, I. A. Serikova

Georgy Sergeevich Serikov, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Design and Production of Radio Equipment, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(980)232-92-21; e-mail: georgy301212@gmail.com

Irina Alekseevna Serikova, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(910)248-03-96; e-mail: sirina301212@gmail.com

The article considers the technological problems of heat and gas supply related to the need for constant monitoring of main pipeline transport systems using mobile modules. Automation of the process of charging traction batteries of autonomous mobile modules for diagnosing the state of various objects using contactless energy transfer technology can significantly increase the functionality and flexibility of using remote sensing systems in the construction of closed heat and gas supply ecosystems. When using an automated system for contactless charging of traction batteries, it becomes possible to build the most functional complex for automatic maintenance of main pipeline systems. Various methods are presented to improve the accuracy of the mutual positioning of the receiving and transmitting inductors. The object of the study is a station for monitoring the condition of main pipeline heat and gas supply systems. The subject of the study is modeling and statistical analysis of the operation of the energy supply system of autonomous mobile modules. The goal of the work is to increase the efficiency and safety of monitoring of main pipeline systems. The developed proposals are aimed at improving the quality and safety of automated monitoring of main pipelines.

Keywords: main pipeline; monitoring; mobile module; contactless charging; automation; electric drive.

REFERENCES

1. **Bushmeleva K. I., Uvaysov S. U.** *Monitoring system for gas transportation facilities.* Reliability and quality of complex systems. 2013. No. 1. Pp. 84-87. (in Russian)
2. **Baranova E. A., Maltsev D. B., Esaulenko V. N., Rudenko M. F.** *Distributed system for monitoring technological objects of the oil and gas industry based on a wireless sensor network.* Bulletin of ASTU. Series: Management, computer technology and information science. 2017. No. 2. Pp. 98-104. (in Russian)
3. **Serikov G. S., Serikova I. A., Smirnov O. P., Borisenko A. O.** *Information control and diagnostic systems of modern vehicles.* Automobile and Electronics. Modern technologies. Electronic scientific special edition (printed version). 2020. No. 17. Pp. 62-68. (in Ukrainian)
4. **Serikov G. S., Serikova I. A.** *A method for increasing the autonomous range of electric vehicles.* Pat. No. u 2022 03752 (Ukraine), No. 7826/ZU/22 patent holder Kharkov National Automobile and Highway University. No. u 2022 03752; Appl. 10.10.2022; publ. 10/17/2022, bull. No. 10. 2 p. (in Ukrainian)
5. **Serikova I. A.** *Ways to increase automation and efficiency of construction organization using modern teledispatching systems.* Urban Planning. Infrastructure. Communications. 2024. No. 4(37). Pp. 28-34. (in Russian)
6. **Serikov G. S., Serikova I. A.** *Intelligent system for determining the efficiency of use of energy resources by special equipment.* The latest technologies in the automotive industry, transport and in the training of specialists: scientific proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the Department of Automobiles named after A.B. Gredescula. Kharkov. 2021. Pp. 422-424. (in Ukrainian)
7. **Batygin Yu. V., Bondarenko A. Yu., Eremina E. F., Shinderuk S. A., Serikov G. S.** *Direct excitation of a serial resonant circuit with rectangular voltage pulses. Calculation ratios.* Bulletin of the National Technical University KhPI. Series: Technology and electrophysics of high voltages. 2019. No. 18. Pp. 3-7. (in Ukrainian)
8. **Batygin Yu. V., Serikov G. S., Shinderuk S. A.** *Resonant amplifier of electrical power. Basic design relationships.* Bulletin of the National Technical University of KhPI. Series: Problems of improving electrical machines and devices. Theory and practice: collection of scientific works. 2018. No. 32. Pp. 59-63. (in Ukrainian)
9. **Serikov G. S., Serikova I. A.** *Analysis of thermal stabilization systems for lithium-ion traction batteries of electric vehicles.* Innovations in alternative energy: production and accumulation: Collection of abstracts of reports of the II All-Russian conference with international participation. Dubna. 2024. Pp. 24-25. (in Russian)

10. **Serikova I. A.** *Structural model of an electric vehicle charging station with an increased level of safety.* Automotive and Electronics. Modern technologies. Electronic scientific special edition (printed version). 2017. No. 12. Pp. 24-28. (in Russian)

Received 21 January 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Сериков, Г. С. Совершенствование процесса автоматизированного мониторинга магистральных трубопроводных систем / Г. С. Сериков, И. А. Серикова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 1(32). – С. 45-54. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.005.

FOR CITATION:

Serikov G. S., Serikova I. A. *Improving the process of automated monitoring of main pipeline systems.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 1(32). Pp. 45-54. DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.005. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.006

УДК 621.644.8

МЕТОДЫ РАСЧЕТА И КОНТРОЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

А. С. Салиева, Е. С. Аралов, К. В. Гармонов

Салиева Анастасия Сергеевна, ассистент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, аспирант кафедры цифровой и отраслевой экономики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: avoloh@cchgeu.ru

Аралов Егор Сергеевич, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: vgtu.aralov@yandex.ru

Гармонов Кирилл Валерьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежской государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: kgarmonov@cchgeu.ru

Рассмотрены методы расчета и контроля надежности магистральных трубопроводов с учетом современных подходов к управлению техническим состоянием. Проанализированы ключевые факторы, влияющие на надежность трубопроводных систем, включая коррозионные процессы, механические повреждения и вероятностные отказы. Представлены модели прогнозирования технического состояния, расчета остаточного ресурса и оценки вероятности отказов на основе нормального распределения. Описаны расчетные зависимости для определения скорости коррозии, остаточной толщины стенки трубопровода, прочности и вероятности отказа. Особое внимание уделено применению цифровых двойников в управлении надежностью трубопроводных систем. Представлена их структура, функции и возможности, включая мониторинг состояния, прогнозирование износа, оптимизацию технического обслуживания и моделирование аварийных ситуаций. Рассмотрены примеры внедрения цифровых двойников в ведущих нефтегазовых компаниях мира. Результаты исследования подтверждают, что комплексный подход, основанный на математическом моделировании, цифровых технологиях и вероятностном анализе отказов, позволяет минимизировать риски аварий, повысить безопасность эксплуатации и продлить срок службы магистральных трубопроводов.

Ключевые слова: надежность; магистральный трубопровод; модель управления; цифровой двойник; отказ.

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения числа рисков отказов и аварий на магистральных трубопроводах, что приводит к серьезным экологическим, экономическим и социальным последствиям, включая утечки нефти или газа, загрязнение окружающей среды, пожары, взрывы и человеческие жертвы. Число аварий на магистральных трубопроводах является важным показателем, который отражает уровень безопасности и надежности трубопроводных систем, следовательно, проблема обеспечения надежности является достаточно актуальной и требует комплексного подхода к управлению системами. Под надежностью магистрального трубопровода следует понимать способность комплекса взаимосвязанных объектов сохранять рабочие параметры, заложенные проектными расчетами, в течение эксплуатационного периода. Термин «надежность» возможно ассоциировать с такими понятиями как эффективность, безопасность и качество [1, 2].

На надежность трубопроводных систем оказывает влияние ряд факторов, например, таких как коррозионные процессы, механические повреждения, дефекты сварных швов, ошибки в действиях персонала при проведении работ в охранной зоне, чрезвычайные ситуации природного характера, температурные воздействия, изменение давления [3].

© Салиева А. С., Аралов Е. С., Гармонов К. В., 2025

Для поддержания надежности в течение всего эксплуатационного периода целесообразно внедрять модели управления. Среди моделей управления надежностью магистральных трубопроводов авторы данной работы выделяют:

- ✓ модели прогнозирования технического состояния трубопроводов;
- ✓ оценка остаточного ресурса трубопроводных систем;
- ✓ модели, учитывающие вероятностные методы анализа отказов;
- ✓ модели раннего выявления дефектов.

Для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации магистральных трубопроводов необходимо оценивать их текущее состояние и прогнозировать его изменение во времени, тем самым выявлять потенциальные риски.

Процесс моделирования прогноза технического состояния трубопровода базируется на оценке следующих параметров: скорость коррозии, остаточная толщина стенки трубопровода, прочность трубопровода и вероятность отказов. В соответствии с СТО Газпром 2-2.3-292-2009 комплексная оценка технического состояния трубопровода в целом зависит от ряда показателей компонентов, представленных на рис. 1.



Рис. 1. Показатели, влияющие на оценку технического состояния трубопровода

Под коррозией понимают процесс разрушения материала при воздействии окружающей и перекачиваемой среды. Различают такие виды коррозии как химическая, электрохимическая, механическая и биологическая. К ключевым факторам, порождающим процесс деградации материала, относят: температурные воздействия, повреждения целостности и дефекты материала трубопровода, и влажность.

Для оценки скорости коррозии (деградации материала) можно воспользоваться эмпирической формулой, которая имеет вид [4]:

$$v_k = \frac{\Delta m}{A \cdot t} = \frac{\Delta h \cdot \rho}{t}, \quad (1)$$

где v_k – скорость коррозии, мм/год; Δm – потеря массы материала, г; A – площадь поверхности трубопровода, см²; t – время эксплуатации, лет; Δh – уменьшение толщины стенки трубопровода, мм; ρ – плотность материала трубопровода, г/см³.

С учетом коррозионных процессов остаточную толщину стенки трубопровода определяют следующим образом:

$$h_{\text{ост}} = h_{\text{нач}} - v_k \cdot t, \quad (2)$$

где $h_{\text{ост}}$ – остаточная толщина стенки трубы, мм; $h_{\text{нач}}$ – начальная толщина стенки трубы, мм; v_k – скорость коррозии, мм/год; t – время эксплуатации, лет.

Расчетная прочность трубопровода представляет собой характеристику, учитывающую все потенциальные факторы, способные вызвать разрушение. Для проверки соответствия расчетной прочности трубопровода фактической при эксплуатационных условиях необходимо под воздействием внутреннего давления проводить испытания, позволяющие выявить все неучтенные дефекты. Расчетная прочность трубопровода обеспечивается при выполнении условия надёжности:

$$\sigma \leq \sigma_{\text{доп}}, \quad (3)$$

где σ – возникающее напряжение, МПа; $\sigma_{\text{доп}}$ – допустимое напряжение для материала трубы, МПа.

Возникающее напряжение возможно определить по следующей формуле [5]:

$$\sigma = \frac{P \cdot D}{2 \cdot h_{\text{ост}}}, \quad (4)$$

где P – рабочее давление в трубе, МПа; D – наружный диаметр трубы, мм; $h_{\text{ост}}$ – остаточная толщина стенки трубы, мм.

Для оценки вероятности отказа применяется уравнение нормального распределения, учитывающее деградацию толщины стенки трубы [6]:

$$P = F \cdot \left(\frac{h_{\text{ост}} - h_{\text{крит}}}{\sigma_h} \right), \quad (5)$$

где P – вероятность отказа; $F(x)$ – функция распределения вероятности нормального закона; $h_{\text{ост}}$ – остаточная толщина стенки трубы, мм; $h_{\text{крит}}$ – критическая толщина стенки, при которой наступает отказ, мм; σ_h – стандартное отклонение измерений толщины стенки, мм.

Заключение о техническом состоянии исследуемого трубопровода производят по обобщенной модели надежности трубопровода:

$$R = \frac{h_{\text{ост}}}{h_{\text{крит}}}, \quad (6)$$

где $h_{\text{ост}}$ – остаточная толщина стенки трубы, мм; $h_{\text{крит}}$ – критическая толщина стенки, при которой наступает отказ, мм.

Из обобщенной модели надежности трубопровода (6) следует, что если остаточная толщина стенки превышает критическую, то $R > 1$ и, соответственно, трубопровод находится в рабочем состоянии. В случае, если $R \leq 1$, то это свидетельствует о ремонте или замене трубопровода. При помощи модели надежности возможно оценить вероятность безотказной работы трубопровода в течение определённого времени.

Период работы трубопровода от момента последней диагностики до перехода в критическое состояние называется остаточным ресурсом. В соответствии с ОСТ 153-39.4-010-2002 расчет на определение остаточного ресурса производят по минимальной остаточной толщине стенки трубопровода, при этом учитывая режимы эксплуатации и характеристики металла.

$$T_{\text{ост}} = \frac{h_{\text{ост}} - h_{\text{крит}}}{v_k}, \quad (7)$$

где $T_{\text{ост}}$ – остаточный ресурс трубы, лет; $h_{\text{ост}}$ – остаточная толщина стенки трубы, мм; $h_{\text{крит}}$ – критическая толщина стенки, при которой наступает отказ, мм; v_k – скорость коррозии, мм/год.

С помощью модели, учитывающей вероятностные методы анализа отказов трубопровода, возможно оценить вероятность возникновения аварийных ситуаций, определить их последствия и разработать план по сокращению рисков, а также разработать оптимальные стратегии технического обслуживания. Данная модель строится на базе уравнения состояния и уравнения вероятности отказов. Условия, которые необходимо выполнить для корректного применения модели на практике, представлены на рис. 2. Величины, которые необходимо учитывать при проведении анализа и в будущем для построения модели, приведены на рис. 3.



Рис. 2. Основные предпосылки модели, учитывающей вероятностные методы анализа отказов

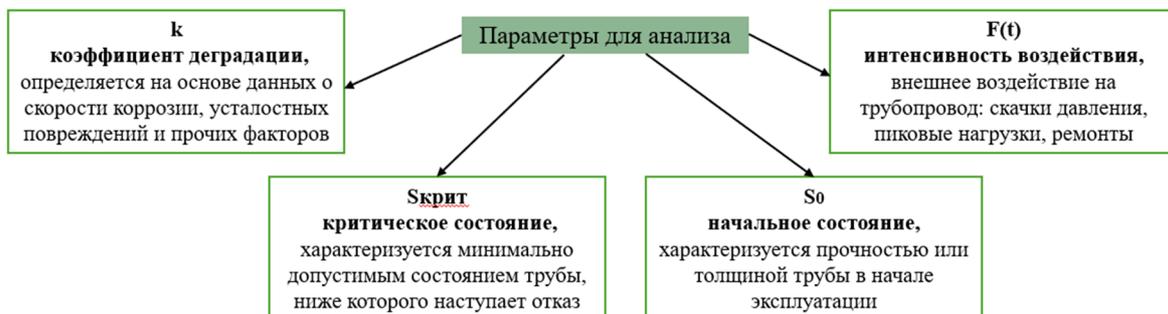


Рис. 3. Учитываемые параметры при анализе отказов

Уравнение изменения состояния трубопровода [7]

Под воздействием факторов деградации со временем состояние трубы $S(t)$ ухудшается, следовательно данный процесс возможно описать дифференциальным уравнением:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -k \cdot S(t) + F(t), \quad (8)$$

где $S(t)$ – состояние трубы в момент времени t (остаточная толщина или прочность); k – коэффициент деградации; $F(t)$ – функция внешнего воздействия; t – время.

Уравнение вероятности отказа [6]

Вероятность отказа трубопровода зависит от текущего состояния $S(t)$ через взаимосвязь с вероятностью достижения критического состояния $S_{\text{крит}}$, и описать её можно следующим уравнением:

$$\frac{dP(t)}{dt} = \lambda(t) \cdot (1 - P(t)), \quad (9)$$

где $P(t)$ – вероятность отказа в момент времени t ; $\lambda(t)$ – интенсивность отказов.

Интенсивность отказов зависит от состояния трубы в момент времени t , и определяется:

$$\lambda(t) = \frac{k}{S(t) - S_{\text{крит}}}, \quad (10)$$

где k – коэффициент деградации; $S(t)$ – состояние трубы в момент времени t ; $S_{\text{крит}}$ – критическое состояние трубы.

Объединяя уравнение изменения состояния трубопровода (8), уравнение вероятности отказа (9) и уравнение интенсивности отказов (10), получаем систему:

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -k \cdot S(t) + F(t), \\ \frac{dP(t)}{dt} = \frac{k}{S(t) - S_{\text{крит}}} \cdot (1 - P(t)). \end{cases} \quad (11)$$

При постоянном внешнем воздействии $F(t) = F_0$, уравнение (8) принимает вид:

$$S(t) = S_0 \cdot e^{-kt} + \frac{F_0}{k} \cdot (1 - e^{-kt}), \quad (12)$$

где S_0 – начальное состояние трубы.

При решении системы (11), принимая во внимания уравнение (12), получаем нелинейное дифференциальное уравнение вероятности отказа $P(t)$:

$$\frac{dP(t)}{dt} = \frac{k}{S_0 \cdot e^{-kt} + \frac{F_0}{k} \cdot (1 - e^{-kt}) - S_{\text{крит}}} \cdot (1 - P(t)). \quad (13)$$

Модель раннего выявления дефектов базируется на использовании цифровых двойников (Digital Twins).

Цифровым двойником трубопровода называют его виртуальную модель, которая постоянно обновляется на основе данных с датчиков и с других источников. Используя, цифровой двойник фактического трубопровода, возможно проводить анализ работоспособности, отслеживать техническое состояние, прогнозировать и моделировать различные сценарии эксплуатации [8...10]. Детальное описание функций цифровых двойников для трубопроводов приведено в таблице.

Применение цифровых двойников для трубопроводов

Функция	Описание функции	Результат
Мониторинг состояния трубопроводов	В реальном времени отслеживается состояние трубопровода и фиксируют рабочие параметры, например давление, температуру, скорость потока, вибрации	Оперативное выявление отклонений от заданных параметров
Прогнозирование износа и повреждений	На основе данных о материалах, условиях эксплуатации и внешних факторах (например, коррозия, вибрация, температурные перепады) возможно прогнозирование износа и потенциальных повреждений	Предотвращение аварий, планирование технического обслуживания
Оптимизация технического обслуживания	Переход от планового обслуживания к обслуживанию по состоянию	Снижение затрат на ремонт, увеличение эксплуатационного срока
Моделирование аварийных ситуаций	Симуляция различных сценариев аварий, например утечка, разрыв, изменение нагрузки	Разработка эффективных планов действий в чрезвычайных ситуациях
Интеграция с GIS	Объединение цифровых двойников с геоинформационными системами (GIS)	Точное определение местоположения дефекта

Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод, что использование цифровых двойников во время эксплуатации трубопроводов приводит к снижению риска аварий за счет раннего обнаружения проблем, оптимизирует затраты на обслуживание и ремонт, позволяет своевременно обнаружить и устранить дефект, а также предоставляет возможность моделировать различные ситуации для принятия рациональных решений в будущем. Но несмотря на обозначенные возможности, цифровые двойники имеют некоторые особенности, например, такие как: точность и полнота данных, поступающих с датчиков, высокая стоимость внедрения и необходимость в квалифицированных кадрах.

Мировые нефтегазовые компании активно внедряют в свою работу цифровые двойники [11]:

✓ Российская нефтяная компания «Газпром нефть» применяет цифровые двойники для моделирования месторождений и оптимизации процессов добычи.

✓ Британская нефтегазовая компания «Shell» использует цифровые двойники для оптимизации добычи на шельфовых месторождениях;

✓ Британская транснациональная нефтегазовая компания «British Petroleum (BP)» внедряет цифровые двойники для мониторинга состояния оборудования и прогнозирования технического обслуживания.

✓ Итальянская нефтегазовая компания «Eni» применяет цифровые двойники для моделирования операций и автоматизации работ на буровых установках.

✓ Норвежская нефтегазовая компания «Equinor ASA» использует цифровые двойники для обеспечения надежной морской нефтедобычи.

Заключение.

В ходе проведенного исследования было определено, что мероприятия по обеспечению надёжности трубопроводов требуют комплексного подхода, включающего физико-математические модели, такие как модели прогнозирования технического состояния трубопроводов, модели, учитывающие вероятностные методы анализа отказов и модели раннего выявления дефектов, базирующиеся на применении цифровых двойников.

Внедрение данных моделей в процесс управления трубопроводными системами обеспечивает безопасную, эффективную и бесперебойную работу на протяжении всего периода эксплуатации, что позволяет минимизировать риски, предотвращать аварии и проводить своевременное техническое освидетельствование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Абсалямова, В. Ф.** Диспетчерское управление магистральными трубопроводами / В. Ф. Абсалямова, Т. В. Дмитриева, А. В. Федосов. – Уфа: ФГБОУ ВПО УГНТУ: ССП УГНТУ «ИДПО», 2015. – 120 с.

2. **Томарева, И. А.** Проблемы надежности трубопроводных систем нефтегазовых месторождений / И. А. Томарева, Д. А. Медведева, Р. А. Шерстюгов // Вестник науки и образования. – 2018. – Т. 1. – № 4(40). – С. 26-30.

3. **Волох, А. С.** Анализ аварийности линейной части и объектов трубопроводного транспорта / А. С. Волох, И. А. Провоторов, А. Р. Макаров // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 4(27). – С. 53-60.

4. **Коррозия и защита нефтепромыслового оборудования: учебное пособие / А. Н. Маркин, В. Э. Ткачева, А. Ф. Дресвянников, А. Н. Ахметова.** – Казань: Издательство КНИТУ, 2022. – 188 с.

5. **Саруев, А. Л.** Исследование напряженно-деформированного состояния трубопроводов: учебное пособие / А. Л. Саруев, А. В. Рудаченко. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2021. – 146 с.

6. **Климов, А. М.** Надежность технологического оборудования: учебное пособие / А. М. Климов, К. В. Брянкин. – Тамбов: Издательство Тамбовского государственного технического университета, 2008. – 104 с.

7. **Сухарев, М. Г.** Технологический расчет и обеспечение надежности газо- и нефтепроводов / М. Г. Сухарев, А. М. Карасевич. – Москва: РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2000. – 271 с.

8. **Габидуллин, И. Р.** Применение цифровых двойников в нефтегазовой отрасли / И. Р. Габидуллин, С. Н. Федоров // Актуальные исследования. – 2023. – № 25(155). – Ч. I. – С. 56-60.

9. **Быкова, В. Н.** Применение цифрового двойника в нефтегазовой отрасли / В. Н. Быкова, Е. Ким, М. Р. Гаджиалиев [и др.] // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2020. – № 1(28). – С. 8.

10. **Еремин, Н. А.** Цифровой двойник в нефтегазовом производстве / Н. А. Еремин, Ал. Н. Еремин // Нефть. Газ. Новации. – 2018. – № 12. – С. 14-17.

11. Цифровизация и цифровые технологии в нефтегазовой отрасли: учебное пособие для вузов / В. В. Чернышев, А. В. Никитина, С. В. Куличков, Е. Г. Автомонов, В. Ю. Чертухин, С. В. Справцева. – Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2023. – 105 с.

Поступила в редакцию 14 февраля 2025

METHODS OF CALCULATION AND CONTROL OF RELIABILITY INDICATORS IN MAIN PIPELINES

A. S. Salieva, E. S. Aralov, K. V. Garmonov

Anastasia Sergeevna Salieva, assistant of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, postgraduate student at the Department of Digital and Industrial Economics, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: avoloh@cchgeu.ru

Egor Sergeevich Aralov, senior lecturer 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: vgtu.aralov@yandex.ru

Kirill Valerievich Garmonov, 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: kgarmonov@cchgeu.ru

In the article we consider the methods of calculation and control of reliability of main pipelines taking into account modern approaches to technical condition management. We analyze the key factors influencing the reliability of pipeline systems, including corrosion processes, mechanical damage and probabilistic failures. We present the models of technical condition forecasting, residual resource calculation and failure probability assessment based on normal distribution. The paper describes as well the calculation dependencies for determining the corrosion rate, residual pipeline wall thickness, strength and failure probability. Particular attention is paid to the use of digital twins in pipeline system reliability management. We show their structure, functions and capabilities, including condition monitoring, wear prediction, maintenance optimization and emergency simulation. We also consider examples of the implementation of digital twins in the world's leading oil and gas companies. The results of the study confirm that an integrated approach based on mathematical modeling, digital technologies and probabilistic failure analysis allows minimizing the risk of accidents, increasing operational safety and extending the service life of main pipelines.

Keywords: reliability; main pipeline; management model; digital twin; failure.

REFERENCES

1. **Absalyamova V. F., Dmitrieva T. V., Fedosov A. V.** *Dispatch control of main pipelines*. Ufa, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Ufa State Petroleum Technological University», Structural Subdivision «Institute of Continuing Professional Education». 2015. 120 p. (in Russian)
2. **Tomareva I. A., Medvedeva D. A., Sherstyugov R. A.** *Problems of reliability of pipeline systems of oil and gas fields*. Bulletin of Science and Education. 2018. T. 1. No. 4(40). Pp. 26-30. (in Russian)
3. **Volokh A. S., Provotorov I. A., Makarov A. R.** *Accident analysis of linear part and pipeline transport facilities*. Housing and public utilities. 2023. No. 4(27). Pp. 53-60. (in Russian)
4. **Markin A. N., Tkacheva V. E., Dresvyannikov A. F., Akhmetova A. N.** *Corrosion and protection of oilfield equipment: textbook*. Kazan, Publishing House of Kazan National Research Technological University. 2022. 188 p. (in Russian)
5. **Saruev A. L., Rudachenko A. V.** *Study of the stress-strain state of pipelines: textbook*. Tomsk, Publishing House of Tomsk Polytechnic University. 2021. 146 p. (in Russian)
6. **Klimov A. M., Bryankin K. V.** *Reliability of technological equipment: textbook*. Tambov, Publishing House of Tambov state technical university. 2008. 104 p. (in Russian)
7. **Sukharev M. G., Karasevich A. M.** *Technological calculation and ensuring the reliability of gas and oil pipelines*. Moscow, Russian State University of Oil and Gas named after I. M. Gubkina. 2000. 271 p. (in Russian)
8. **Gabidullin I. R., Fedorov S. N.** *Application of digital twins in the oil and gas industry*. Current research. 2023. No. 25(155). Part I. Pp. 56-60. (in Russian)
9. **Bykova V. N., Kim E., Gadzhialiev M. R.** *Application of a digital twin in the oil and gas industry*. Actual problems of oil and gas. 2020. No. 1(28). Pp. 8. (in Russian)
10. **Eremin N. A., Eremin Al. N.** *Digital twin in oil and gas production*. Oil. Gas. Innovations. 2018. No. 12. Pp. 14-17. (in Russian)
11. **Chernyshev V. V., Nikitina A. V., Kulichkov S. V., Avtomonov E. G., Chertukhin V. Yu., Spravtseva S. V.** *Digitalization and digital technologies in the oil and gas industry: a textbook for universities*. Vladivostok, Publishing House of the Far Eastern Federal University. 2023. 105 p. (in Russian)

Received 14 February 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Салиева, А. С. Методы расчета и контроля показателей надежности магистральных трубопроводов / А. С. Салиева, Е. С. Аралов, К. В. Гармонов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 1(32). – С. 55-62. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.006.

FOR CITATION:

Salieva A. S., Aralov E. S., Garmonov K. V. *Methods of calculation and control of reliability indicators in main pipelines*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 1(32). Pp. 55-62. DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.006. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.007

УДК 697.922.565

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАСЧЕТА ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ

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

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

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

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

Соловьев Сергей Анатольевич, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(960)123-57-61; e-mail: s_s_ov@mail.ru

Проведен анализ некорректного подбора воздухораспределительных устройств на примере проекта системы вентиляции помещений медицинского назначения. Выполнено моделирование систем воздухораспределения в кабинете врача при организации смешивающей вентиляции. Представлены результаты формирования струйных течений в помещении различными воздухораспределителями в зависимости от схемы движения, дальности воздушного потока и конечной нормируемой подвижности. Выполнен анализ представленных результатов расчета и подбора воздухораспределительных устройств. Приведены рекомендации при выборе схемы организации движения воздуха, местоположения и типоразмера устройств подачи приточного воздуха.

Ключевые слова: воздухораспределитель; системы вентиляции; воздушные струи; подвижность воздуха; расчетный воздухообмен.

Воздухораспределительные устройства (ВР) согласно ГОСТ 32548-2013 «Вентиляция зданий. Воздухораспределительные устройства. Общие технические условия» являются концевым элементом любой вентиляционной системы. От грамотного выбора и расчета этих устройств на стадии проектирования и правильной наладки зависит эффективность работы системы в целом, как по обеспечению требуемых параметров воздуха в рабочей зоне помещений, так и по рациональному расходованию энергетических ресурсов [1]. Система воздухораспределения является одной из наиболее важных подсистем вентиляции, к которой предъявляются многочисленные требования [2], ГОСТ 32548-2013. Это свидетельствует о многозадачности, сложности и необходимости грамотного подхода к выбору схемы организации воздухообмена, места размещения воздухораспределительных устройств, их расчета и взаимной увязки с комплексным оснащением помещений [3, 4].

Рекомендации по расчету и выбору ВР (с учетом формируемых ими струйных течений) изложены в СП 60.13330.2020 «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». При этом следует помнить, что основные аэродинамические и акустические характеристики воздухораспределительных устройств, требуемые проектировщику для грамотного (правильного) расчета и подбора ВР, определяются и гарантируются производителем по результатам приемочных испытаний опытных образцов, проводимых на аттестованных соответственно аэродинамическом и акустическом стендах согласно

© Лобанов Д. В., Звенигородский И. И., Сафонов С. А., Соловьев С. А., 2025

ГОСТ 32548-2013, ГОСТ 32549-2013 «Вентиляция зданий. Воздухораспределительные устройства. Аэродинамические испытания и оценка применения для вытесняющей вентиляции». К сожалению, в настоящее время у многих производителей такие характеристики отсутствуют.

В соответствии с международной классификацией, принятой по ГОСТ 32548-2013, ГОСТ 32549-2013, по принципу организации воздухообмена воздухораспределители делятся на два вида: формирующие струи для перемешивающей и вытесняющей вентиляции.

При проектировании основными этапами являются сбор исходных данных, их анализ, а также дальнейшие расчеты и конструирование с увязкой многочисленных инженерных систем и сетей объекта. Монтажные работы должны производиться в соответствии с требованиями и рекомендациями нормативно-технической и справочной литературы с учетом проектных решений. В случае невозможности реализации систем по запроектированным трассировкам, необходимо обязательное согласование с проектной организацией. При эксплуатации систем микроклимата требуется соблюдение сроков и периодичности выполнения регламентных работ в соответствии с требованиями нормативной технической литературы и рекомендациями заводов-изготовителей.

Таким образом, три составляющие «проект-монтаж-эксплуатация», тесно связанные между собой, непосредственно влияют на работоспособность систем микроклимата: любой из этапов жизненного цикла системы зависит от предыдущего (последующего) [5]. В частности, правильно выполненный проект, реализованный (смонтированный) неграмотными специалистами, создает предпосылки некачественной вентиляции в помещениях даже при выполнении своевременных грамотных работ по эксплуатации. И наоборот, некачественный проект, реализованный на объекте грамотными специалистами по монтажу, выполнивших пусконаладочные работы и сдавшие системы в эксплуатацию, скорее всего приведет к необеспечению требуемых параметров воздушной среды в рабочей (обслуживаемой) зоне помещения.

На практике иногда встречаются ситуации, связанные с неправильным подбором воздухораспределительных устройств. В качестве иллюстрации некорректного подбора ВР рассмотрим проект вентиляции здания медицинского назначения. На рис. 1 представлен фрагмент плана этажа с размещенными вентиляционными системами, содержащими воздуховоды, фасонные изделия (отводы, переходы, тройники и т.д.), регулирующие устройства и воздухораспределители.

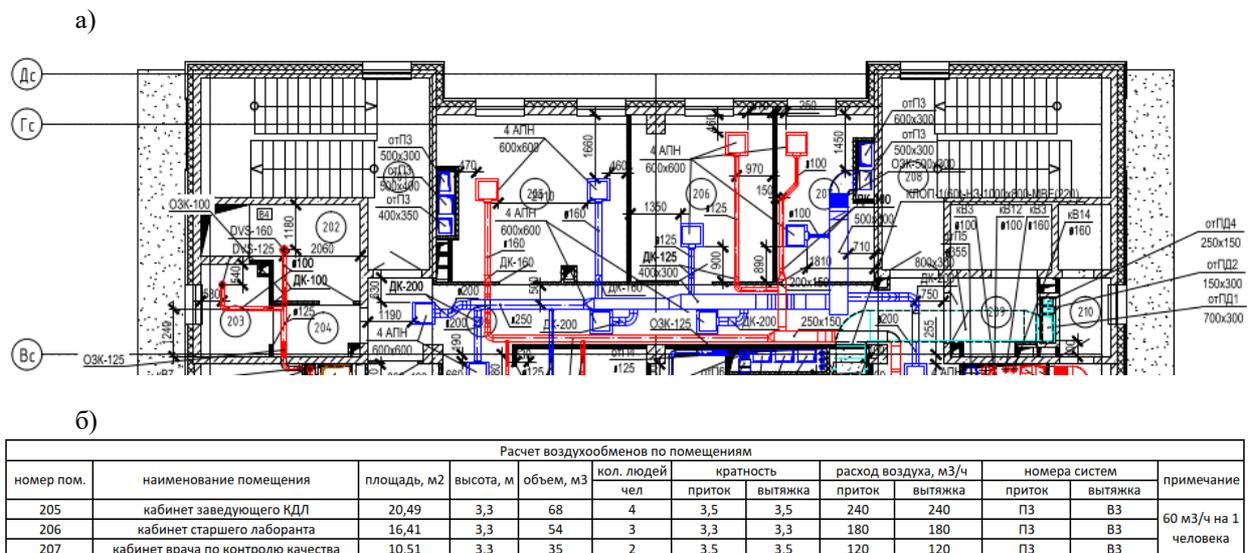


Рис. 1. Фрагмент проекта систем вентиляции помещений медицинского назначения:
а – фрагмент плана этажа с вентиляционными системами; б – фрагмент расчета воздухообмена

Проанализируем данные, приведенные на рис. 1. Видно, что расходы воздуха в помещениях (№ 205, № 206, № 207) различны вследствие разного количества рабочих мест (4, 3 и 2 человека соответственно) и составляют 240 м³/ч, 180 м³/ч и 120 м³/ч. При этом на фрагменте плана воздухораспределители, выбранные проектировщиком, имеют одинаковую маркировку: 4АПН 600х600. У компании ООО «Арктос» имеется каталог с подробным описанием технических характеристик ВР, рекомендации по их подбору и соответствующая компьютерная программа, размещенные на сайте <https://arktoscomfort.ru>. Обратившись к каталогу компании ООО «Арктос» (<https://arktoscomfort.ru>), см. (рис. 2), делаем предварительный вывод о неправильности выбора типоразмера воздухораспределительных устройств.

Типоразмер	F _в , м ³	L _{вЛ} = 20 дБ(А)				L _{вЛ} = 25 дБ(А)				L _{вЛ} = 35 дБ(А)				L _{вЛ} = 45 дБ(А)				
		L _в , м ³ /ч	ΔP _в , Па	Дальнейность струи [м] при V _в , м/с **		L _в , м ³ /ч	ΔP _в , Па	Дальнейность струи [м] при V _в , м/с **		L _в , м ³ /ч	ΔP _в , Па	Дальнейность струи [м] при V _в , м/с **			L _в , м ³ /ч	ΔP _в , Па	Дальнейность струи [м] при V _в , м/с **	
				0,2	0,5			0,2	0,5			0,2	0,5	0,75			0,5	0,75
300х300	0,023	110	12	2,3	0,9	140	20	3,0	1,2	210	44	4,5	1,8	1,2	320	102	2,7	1,8
450х450	0,090	180	4	2,5	1,0	250	8	3,5	1,4	430	24	6,0	2,4	1,6	670	59	3,7	2,5
600х600	0,203	230	2	2,1	0,9	350	4	3,2	1,3	640	15	5,9	2,4	1,6	1030	39	3,8	2,5

Рис. 2. Данные каталога «Арктос» для подбора диффузоров АПН, АПР при подаче воздуха в помещение комбинированными струями (горизонтальной настилающейся и вертикальной прямооточной)

Следует отметить, что зачастую проектировщики применяют в проекте распределители АПН/АПР с четырехсторонней подачей приточного воздуха, хотя в каталоге ООО «Арктос» имеются и другие варианты, представленные на рис. 3.



Рис. 3. Блок направляющих пластин с односторонней, двухсторонней, двухсторонней угловой, трехсторонней и четырехсторонней подачей воздуха диффузоров АПН, АПР

Очевидно, что воздухораспределители 4АПН 600×600 предназначены для других расходов, существенно выше проектных, указанных на рис. 1. Таким образом, в вышеописанном случае типоразмеры воздухораспределительных устройств определены неверно. Это в дальнейшем приведет к неполной работоспособности вентиляционной системы, к необеспечению требуемых параметров воздуха в рабочей (обслуживаемой) зоне, т.к. воздух, выходящий из приточного воздухораспределителя, не обладает требуемой дальностью, поэтому он будет настилаться по поверхности потолка и перетекать в вытяжные вентиляционные устройства.

В рассматриваемом случае очевидна ошибка проектировщика, влекущая неспособность создания требуемых параметров в зоне пребывания человека. Таким образом, даже качественно выполненный монтаж, правильно организованные пуско-наладочные работы и дальнейшая эксплуатация подобной системы не приведут к должной работе системы вентиляции.

При выполнении пуско-наладочных работ специалист отрегулирует регулирующие устройства (дрессельные заслонки), обеспечив расчетный расход воздуха в ответвлениях системы, однако, даже применив воздухораспределители с регулятором расхода воздуха (например, АМР, АПР), практически невозможно добиться создания и обеспечения требу-

емых параметров воздушной среды в обслуживаемой зоне помещений, представленных на рис. 1.

Для обоснования корректного выбора воздухораспределительных устройств рассмотрим различные варианты их размещения в помещении медицинского назначения (кабинет врача) с учетом зависимости от схемы подачи воздуха, количества и типоразмера. План исследуемого помещения приведен на рис. 4.

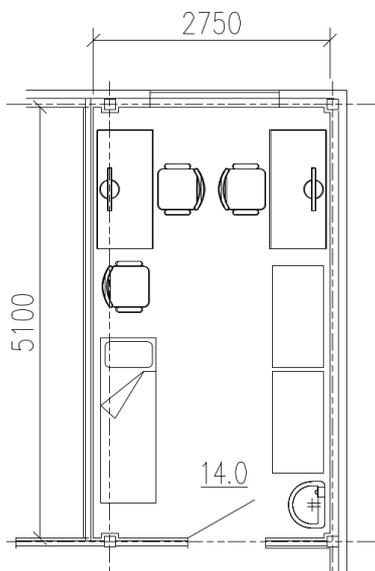


Рис. 4 План помещения кабинета врача

Рассматриваемое помещение (см. рис. 4) согласно ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» относится к помещению 5 категории: «помещения, в которых люди находятся в полураздетом виде (раздевалки, процедурные кабинеты, кабинеты врачей и т.п.)». Для них в ГОСТ 30494-2011 представлены оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне. Согласно СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования», п. 7.2.3.24 «...кабинеты врачей, помещения (зоны) дневного пребывания пациентов, диспетчерские, комнаты персонала, комнаты отдыха площадью до 36 м² оборудуются приточной вентиляцией с механическим побуждением из расчета обеспечения санитарной нормы воздуха на человека (60 м³/чел. в час) с вытяжкой через коридор (через неплотности дверных проемов). Таким образом, получим расчетный расход приточного воздуха равный 140 м³/ч (60 м³/ч – на одно постоянное рабочее место (два врача), 20 м³/ч – на одно непостоянное рабочее место (посетитель)), см. рис. 4.

Для расчета воздухораспределения воспользуемся программой ProAirWeb компании «Swegon», т.к. она позволяет визуальное видеть распределение воздушных потоков в помещении.

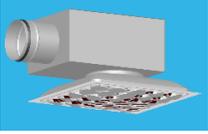
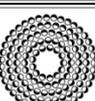
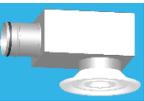
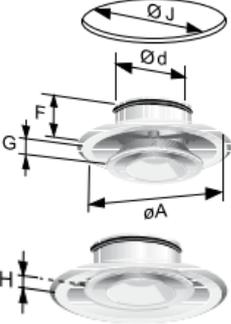
Требуемые исходные данные расчетного помещения и параметры воздуха:

- ✓ длина помещения – 5,1 м;
- ✓ ширина помещения – 2,75 м;
- ✓ высота помещения – 3,0 м;
- ✓ площадь помещения – 14,02 м²;
- ✓ объем помещения – 42,08 м³;
- ✓ подвижность воздуха – 0,2 м/с;
- ✓ температура внутреннего воздуха – 22,0 °С;
- ✓ температура приточного воздуха – 20,0 °С;
- ✓ расход воздуха – 140 м³/ч.

Рассмотрим различные варианты организации схемы подачи приточного воздуха [6, 7] в кабинет врача смешивающей вентиляцией, применяемые схемы приведены в табл. 1. Отметим, что один и тот же воздухоораспределитель может формировать различные струйные течения [8, 9].

Таблица 1

Варианты подачи приточного воздуха в помещение

Номер схемы	Движение воздуха	Наименование и внешний вид воздухоораспределителя,	Расположение воздухоорасеивающих элементов	Схема распределения воздуха	Номера таблиц с результатами моделирования
1				1-сторонняя	табл. 2
2				2М-сторонняя	табл. 3
3				3-сторонняя	табл. 4
4				2Н-сторонняя	табл. 5
5				4-стороннее	табл. 6
6				Вертикальное концентрированное	табл. 7
7				Вертикальное рассеянное	табл. 8
8				G = нижнее положение – горизонтальное распределение воздуха H = верхнее положение – вертикальное распределение воздуха	табл. 9

Проведено моделирование распределения воздушных потоков в плане и объеме помещения при организации смешивающей вентиляции с размещением ВР в верхней зоне помещения. При этом рассмотрены различные виды струйных течений: настилающаяся, коническая, вихревая (см. табл. 1). В исследовании рассмотрено размещение одного приточного воздухоораспределителя.

Результаты моделирования представлены в виде эпюр, показывающих виды струйных течений в зависимости от скорости потока и его дальности (табл. 2...9). При моделировании принято, что в помещении отсутствуют вытяжные вентиляционные устройства (решетки) по СП 158.13330.2014, определенным образом влияющие на карти-

ну распределения в общем случае.

Таблица 2

Распределение воздуха 1-сторонней приточной струей, EAGLE Ceiling (схема 1)

V, м/с	Схема распределения воздушного потока при виде:				
	сверху	сзади	справа	спереди	слева
0,2					
0,15					
0,1					

Таблица 3

Распределение воздуха 2М-сторонней приточной струей, EAGLE Ceiling (схема 2)

V, м/с	Схема распределения воздушного потока при виде:				
	сверху	сзади	справа	спереди	слева
0,2					
0,15					
0,1					

Таблица 4

Распределение воздуха 3-сторонней приточной струей, EAGLE Ceiling (схема 3)

V, м/с	Схема распределения воздушного потока при виде:				
	сверху	сзади	справа	спереди	слева
0,2					
0,15					

Окончание табл. 4

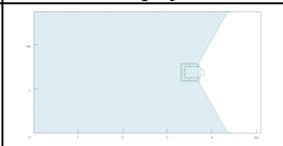
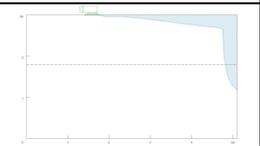
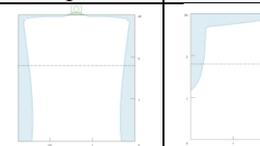
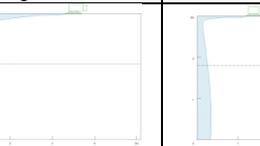
V, м/с	Схема распределения воздушного потока при виде:				
	сверху	сзади	справа	спереди	слева
0,1					

Таблица 5

Распределение воздуха 2Н-сторонней приточной струей, EAGLE Ceiling (схема 4)

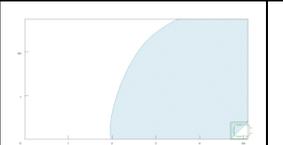
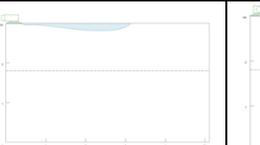
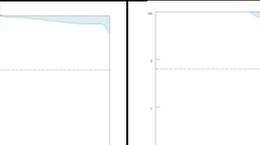
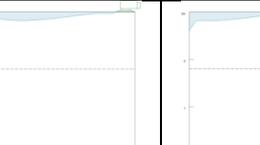
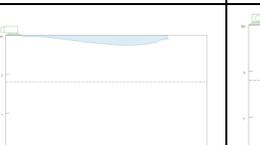
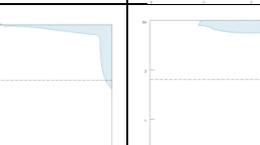
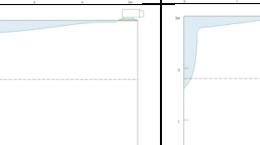
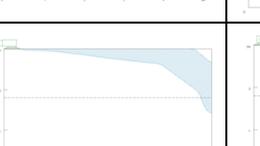
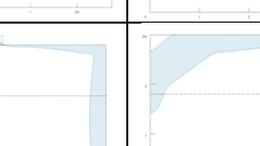
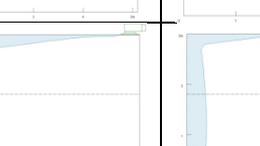
V, м/с	Схема распределения воздушного потока при виде:				
	сверху	сзади	справа	спереди	слева
0,2					
0,15					
0,1					

Таблица 6

Распределение воздуха 4-сторонней приточной струей, COLIBRI Ceiling (схема 5)

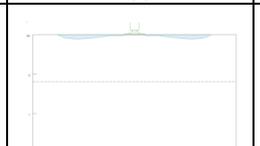
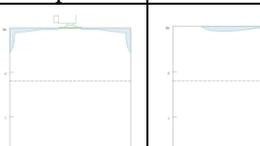
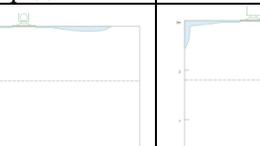
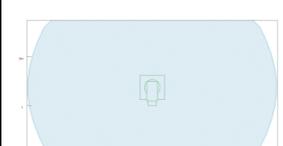
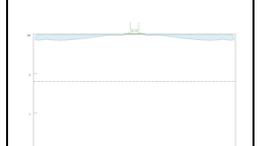
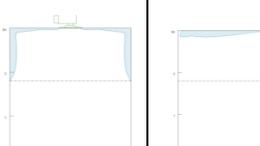
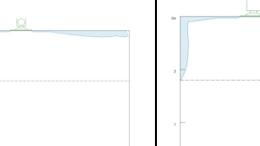
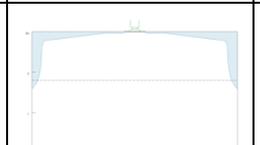
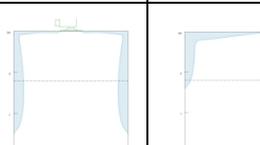
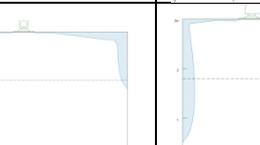
V, м/с	Схема распределения воздушного потока при виде:				
	сверху	сзади	справа	спереди	слева
0,2					
0,15					
0,1					

Таблица 7

Распределение воздуха вертикальной концентрированной приточной струей, COLIBRI Ceiling (схема 6)

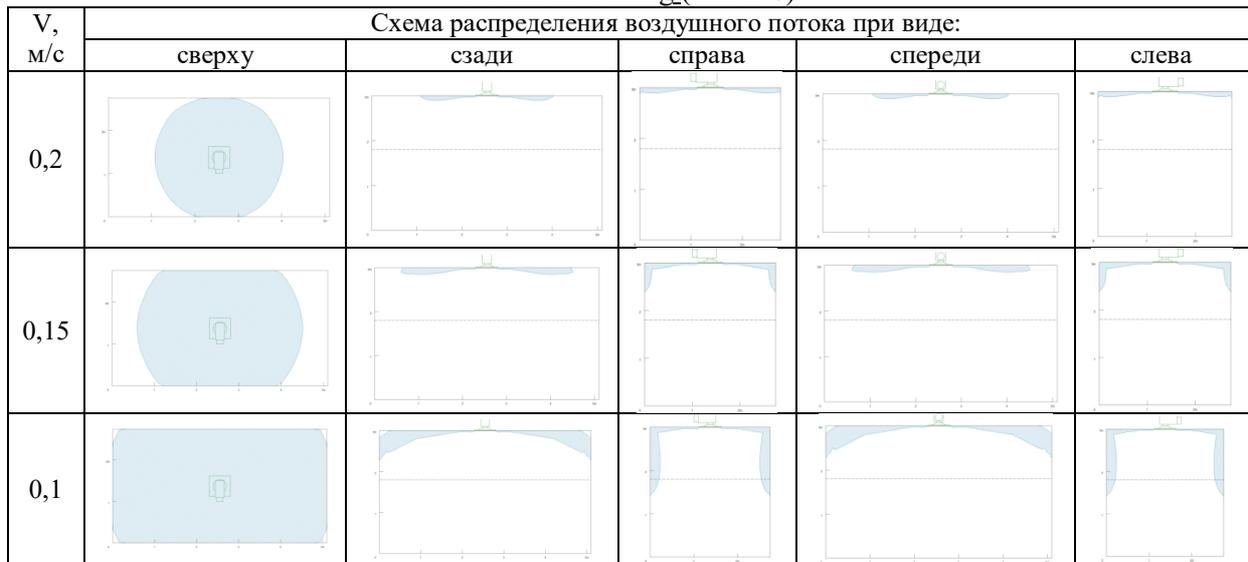


Таблица 8

Распределение воздуха вертикальной рассеянной приточной струей, COLIBRI Ceiling (схема 7)

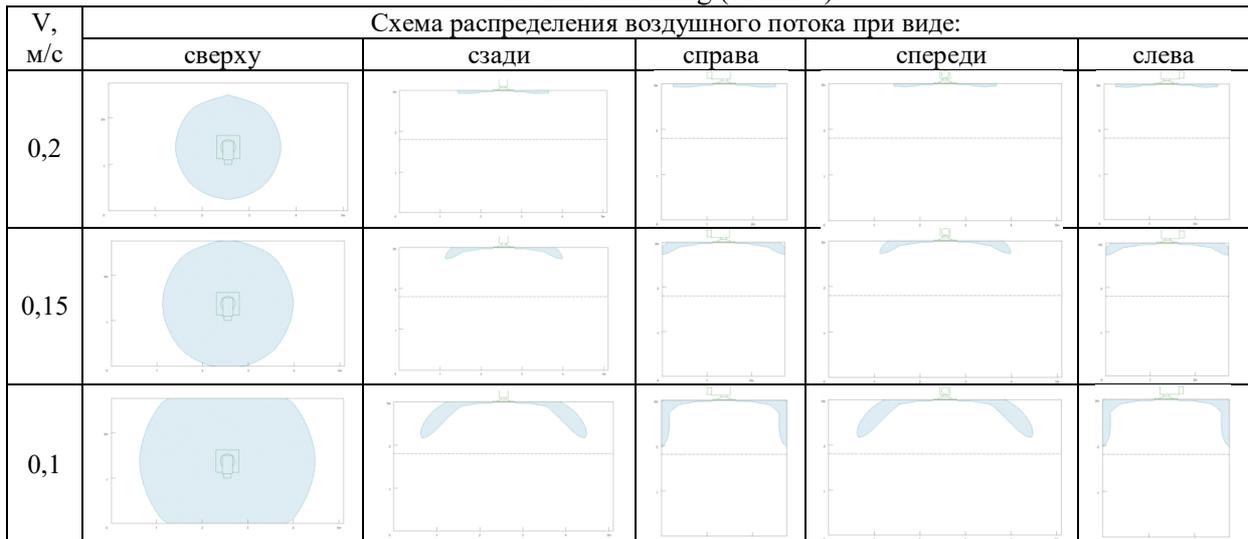
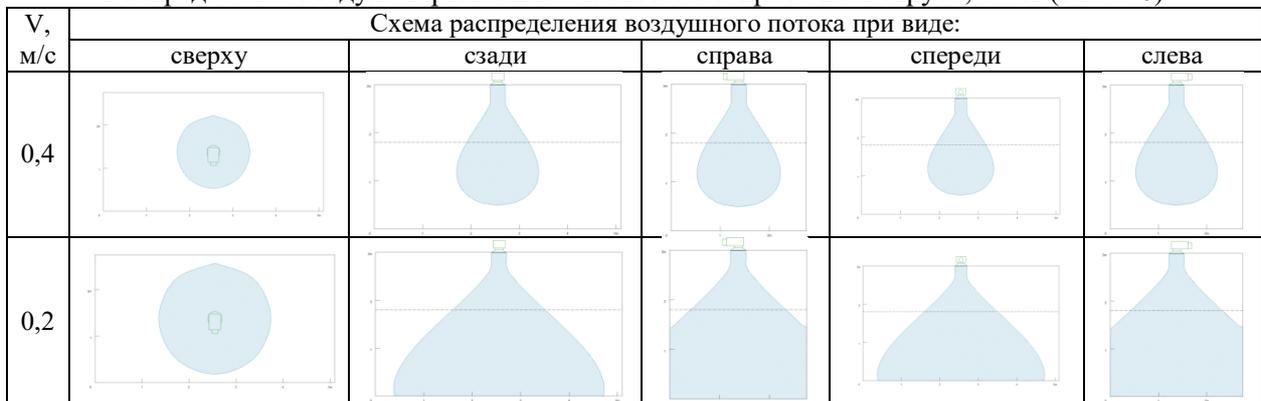
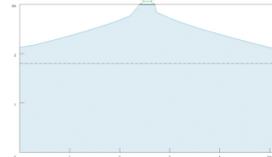
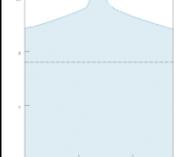
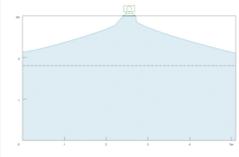
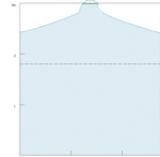


Таблица 9

Распределение воздуха вертикальной конической приточной струей, CVH (схема 8)



Окончание табл. 9

V, м/с	Схема распределения воздушного потока при виде:				
	сверху	сзади	справа	спереди	слева
0,1					

Технические и расчетные характеристики выбранных для данных условий диффузоров представлены в табл. 10, при этом суммарный уровень шума определен на уровне 1,1 м над полом. Расчет выполнен из условия положения воздушной заслонки «среднее».

Таблица 10

Результаты расчета воздухораспределения

Номер схемы	Наименование ВР	Расход воздуха, L, м ³ /ч	Зона влияния, V, м/с	Скорректированная длина выброса, l, м	суммарный уровень шума, dB(A)
1	EAGLE Ca L-160-400-1V+ALSc L-125-160, 1-направл.	140	<0,15	3,50	27
2	EAGLE Ca L-160-400-2M+ALSc L-125-160, 2-направл.	140	0,16	2,98	27
3	EAGLE Ca L-160-400-3V+ALSc L-125-160, 3-направл.	140	0,21	2,63	27
4	EAGLE Ca L-160-400-2H+ALSc L-125-160, 2-направл, под углом	140	0,16	2,98	28
5	COLIBRI CCa 200-500-4V+ALSc 160-200, 4-направл.	140	<0,15	1,93	17
6	COLIBRI CCa 200-500-RO+ALSc 160-200, Вихревое	140	<0,15	1,48	17
7	COLIBRI CCa 200-500-OR+ALSc 160-200, Противопол. рассеив.	140	<0,15	1,13	17
8	CVHb 1-160-V+ALSc 125-160, Вертик. потолочное устр.	140	>0,45	7,26	23

Выполним анализ представленных расчетных данных. Отметим, что первые шесть вариантов подходят для решения поставленной задачи: подвижность воздуха и суммарный уровень шума (см. табл. 10) соответствуют требованиям нормативных документов. Последние два варианта (7 и 8) не подходят в данном случае, т.к. при организации схемы 7 подвижность воздуха в рабочей зоне помещения менее требуемой с учетом дальноточности формируемой воздушной струи. В схеме 8 подвижность воздуха наоборот существенно выше нормативных значений, что может привести к дискомфорту, ощущению сквозняка на рабочем месте. Отметим, что воздухораспределитель, представленный в схеме 8, может быть применен для данного помещения при организации другой схемы воздухооборудования – настилающейся струи.

Первый и четвертый варианты могут применяться в помещениях с разными видами конструктивного выполнения потолка: подшивным (разные вариации) или нет. Остальные – при осуществлении подшивного потолка, вследствие размещения воздухораспределителей на некотором расстоянии от внутренних ограждающих конструкций (стен, перегородок). При этом обязательно требуется учитывать тип потолка (раскладка плит, панелей, например, «Армстронг») а также взаимное размещение изделий других инженерных систем и сетей (светильники, датчики пожарной сигнализации, внутренние блоки систем кондиционирования и т.д.).

Немаловажную роль играет расстановка рабочих мест, мебели, техники. Отметим,

что желательно размещать приточные воздухораспределители в зоне, исключаящей формирование струйных течений повышенной подвижности, то есть исключить ощущение «сквозняка». В зоне расположения постоянных рабочих мест необходимо организовать удаление воздуха. При этом движение приточных и вытяжных вентиляционных струй должно быть таким, чтобы в помещении не было застойных зон, а в обслуживаемом объеме обеспечены равномерно распределенные нормируемые параметры микроклимата [9].

Следует учитывать, что один и тот же воздухораспределитель может формировать различные по форме струи [10]: от настилающейся на потолок до конической. Поэтому наладочные работы должны быть выполнены в полном объеме грамотными специалистами не только с точки зрения количества расчетного приточного воздуха, но и с учетом обеспечения нормируемых параметров воздушной среды в обслуживаемой зоне помещения по ГОСТ 30494-2011.

Заключение.

Проведен анализ ошибок, наиболее часто допускаемых проектировщиками при организации воздухораспределения в помещениях. Показана необходимость обоснованного подхода при подборе воздухораспределительных устройств, с учетом их аэродинамических характеристик.

Приведены результаты моделирования движения приточных вентиляционных струй, формируемых в помещении при организации смешивающей вентиляции (на примере кабинета в медицинском учреждении). Показана существенная зависимость применения различных типов воздухораспределителей в зависимости от создаваемого ими воздушного потока, с учетом дальности струи, конечной подвижности воздуха и суммарного уровня шума, требуемых в соответствии с нормативной литературой.

Представлены рекомендации по применению различных типов воздухораспределителей с учетом конструктивных особенностей помещения и наличия элементов, влияющих на распределение воздушного потока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Новосельцев, Б. П.** Энергосбережение в системах воздушного отопления и вентиляции / Б. П. Новосельцев, Д. В. Лобанов // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: Сборник докладов IX Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика РААСН В.Н. Богословского, Москва, 19...21 апреля 2023 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. – С. 100-106.

2. **Белова, Е. М.** Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях / Е. М. Белова. – Москва: Евроклимат, 2006. – 640 с.

3. **Шепелев, И. А.** Аэродинамика воздушных потоков в помещении / И. А. Шепелев. – Москва: Стройиздат, 1978. – 144 с.

4. **Гримитлин, М. И.** Распределение воздуха в помещениях / М. И. Гримитлин. – СПб: Издательство «АВОК Северо-Запад», 2004. – 320 с.

5. **Монтаж, эксплуатация и сервис систем вентиляции и кондиционирования воздуха: учебн.-справ. пособие.** – 2-е изд., перераб. и доп. / С.И. Бурцев [и др.]; под общей редакцией В. Е. Минина. – СПб.: Профессия, 2007. – 371 с.

6. **Посохин, В. Н.** Аэродинамика вентиляции / В. Н. Посохин. – Москва: Информационно-издательское предприятие «АВОК-ПРЕСС», 2008. – 209 с.

7. **Шумилов, Р. Н.** Проектирование систем вентиляции и отопления. Распределение приточного воздуха / Р. Н. Шумилов, Ю. И. Толстова, А. Н. Бояршинова // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2017. – № 1(181). – С. 96-101.

8. **Каменев, П. Н.** Вентиляция: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Теплогасоснабжение и вентиляция» направления подготовки дипломированных специалистов «Строительство» / П. Н. Каменев, Е. Н. Тертичник. – Москва: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2008. – 614 с.

9. **Стронгин, А. С.** Примеры расчета воздухораспределения / А. С. Стронгин, М. М. Бродач // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2020. – № 8. – С. 22-25.

10. **Посохин, В. Н.** Воздухораспределитель с изменяемой геометрией / В. Н. Посохин, Р. Г. Сафиуллин // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2014. – № 4(148). – С. 74-77.

Поступила в редакцию 21 февраля 2025

JUSTIFICATION OF THE NEED FOR CALCULATION OF AIR DISTRIBUTORS BASED ON AIR FLOW MODELING

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

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

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

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

Sergey Anatolyevich Solovyov, Senior Lecturer of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(960)123-57-61; e-mail: s_s_ov@mail.ru

In the article we analyzed incorrect selection of air distribution devices using the example of a project of a ventilation system for medical premises. Modeling of air distribution systems in a doctor's office is performed when installing a mixing ventilation. We present the results of the formation of jet flows in the room by various air distributors depending on the movement pattern, air flow range and final standardized mobility. We as well perform the analysis of the presented results of calculation and selection of air distribution devices. Finally, we describe the main recommendations for choosing an air movement installation pattern, location and size of air supply devices.

Keywords: air distributor; ventilation systems; air streams; air mobility; calculated air exchange.

REFERENCES

1. **Novosel'tsev B. P., Lobanov D. V.** *Energy saving in air heating and ventilation systems.* Theoretical foundations of heat and gas supply and ventilation: Collection of reports of the IX International scientific and technical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences V. N. Bogoslovsky, Moscow, April 19-21, 2023. Moscow, National Research Moscow State University of Civil Engineering. 2023. Pp. 100-106. (in Russian)

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

3. **Shepelev I. A.** *Aerodynamics of air flows in the room.* Moscow, Stroyizdat. 1978. 144 p. (in Russian)

4. **Grimtlin M. I.** *Air distribution in rooms.* SPb, Publishing house AVOK Severo-Zapad. 2004. 320 p. (in Russian)

5. **Burtsev S. I.** *Installation, operation and maintenance of ventilation and air conditioning systems.* textbook-reference manual. 2nd ed., revised and enlarged. SPb., Profession. 2007. 371 p. (in Russian)

6. **Posokhin V. N.** *Aerodynamics of ventilation.* Moscow, Information and publishing enterprise AVOK-PRESS. 2008. 209 p. (in Russian)

7. **Shumilov R. N., Tolstova Yu. I., Boyarshinova A. N.** *Design of ventilation and heating systems. Distribution of supply air.* Plumbing, Heating, Air Conditioning. 2017. No. 1(181). Pp. 96-101. (in Russian)

8. **Kamenev P. N., Tertichnik E. N.** *Ventilation.* Textbook for the students of higher educational institutions on a speciality "Heat and gas supply and ventilation" of the direction of preparation of the graduated specialists "Building". Moscow, Publishing house of Association of build. high schools. 2008. 614 p. (in Russian);

9. **Strongin A. S., Brodach M. M.** *Examples of air distribution calculations.* AVOK: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and building thermal physics. 2020. No. 8. Pp. 22-25. (in Russian)

10. **Posokhin V. N., Safiullin R. G.** *Air distributor with variable geometry.* Plumbing, Heating, Air Conditioning. 2014. No. 4(148). Pp. 74-77. (in Russian)

Received 21 February 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Обоснование необходимости расчета воздухораспределителей на основе моделирования воздушных потоков / Д. В. Лобанов, И. И. Звенигородский, С. А. Сафонов, С. А. Соловьев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 1(32). – С. 63-74. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.007.

FOR CITATION:

Lobanov D. V., Zvenigorodsky I. I., Safonov S. A., Solovyov S. A. *Justification of the need for calculation of air distributors based on air flow modeling.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 1(32). Pp. 63-74. DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.007. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.008

УДК 532.5.013

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОМЫВКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Б. М. Кумицкий, Е. В. Плаксина, А. И. Калинина

Кумицкий Борис Михайлович, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(999)4016087; e-mail: boris-kum@mail.ru

Плаксина Елена Владимировна, ст. преподаватель, кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(950)7602631; e-mail: eplaksina@cchgeu.ru

Калинина Алина Игоревна, старший преподаватель, кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(930)4070852; e-mail: aikalinina@cchgeu.ru

Изложены результаты исследования промывки вертикальных труб, используемых для нужд хозяйственно-питьевого назначения (водоснабжения и водоотведения), в системах отопления, транспортировке нефтепродуктов и т.д. В основу решения рассматриваемой проблемы положена гидродинамическая модель осесимметричного истечения ньютоновской жидкости из вертикального трубопровода сквозь донное круглое отверстие регулируемого сечения. При этом предполагается полное заполнение исследуемой трубы вязкой жидкостью, представляющей собой сплошную среду с некоторым центром масс, положение которого изменяется в процессе осесимметричного истечения. Допускается также несжимаемость моделируемой среды с ламинарным режимом течения без образования воронки (плоская свободная поверхность), а жидкость в процессе промывки реологически ведет себя подобно твердому телу. Полученные на основе таких предположений аналитические выражения указывают на связь скорости движения, центра масс промывочной жидкости с ее высотой в трубе относительно регулируемого сливного отверстия. Кроме того, описывается зависимость геометрических параметров сечения выпускного отверстия от высоты столба жидкости различной степени вязкости. Это дает возможность контроля за процессом промывки вертикальных трубопроводов.

Ключевые слова: вязкость; центр масс; регулируемый слив.

Интенсивное развитие трубопроводного транспорта в настоящее время вызывает необходимость проведения мероприятий по обеспечению эффективности, эксплуатационной надежности трубопроводной системы и ее элементов, заключающихся в качественном техническом обслуживании. Известно, что в процессе эксплуатации водопровода, канализационных систем, централизованного отопления, транспорта нефтепродуктов и т.д., на внутренних поверхностях труб образуются различного рода отложения. Удаления их является актуальной проблемой, так как засоры трубопроводов приводят к уменьшению проходимости сечения и, как следствие, увеличению гидравлического сопротивления, а также энергетических затрат на транспортировку продукции. Кроме того, отложения в трубопроводных системах коммунального хозяйства значительно увеличивают термическое сопротивление тепловому потоку, что снижает КПД системы и увеличивает число внеплановых ремонтных работ.

В качестве альтернативы капитальному ремонту могут использоваться современные технологии внутритрубной очистки, являющиеся одним из видов технического обслуживания трубопроводной системы [1...4].

В настоящее время известны несколько технологичных способов очищения внутренних стенок трубопроводов в зависимости от их эксплуатационного применения: продувка с использованием поршней, воздушная и газовая продувки, протяжка, вибрационные метод и др. Но особое место среди них занимает метод промывки жидкостями под давлением, так как он решает одновременно две задачи: осуществляет гидравлические испытания магистрали и очищает внутритрубное пространство [2,3].

Длительность безремонтной работы магистральных трубопроводов определяется степенью чистоты их внутренних стенок. Поэтому перед запуском в эксплуатацию продуктопровода каждый отрезок трубы должен пройти, независимо от его длины, следующие этапы очистки:

- ✓ удаление мягкого слоя ржавчины, попавшего грунта, окалины, случайных отложений посторонних предметов;

- ✓ обследование сечения трубопровода на предмет свободного прохождения транспортируемого продукта, обеспечение неоднократного прохождения очистительных устройств и специальных приборов;

- ✓ обеспечение условий заполнения магистрали без ухудшения характеристик транспортируемого продукта [5, 6].

Перечисленные требования неизбежно приводят к увеличению энергетических затрат для осуществления процесса. Эффективность воздействия промывочной среды связана с использованием современных технологий, ускоряющих процессы высококачественной очистки внутренней поверхности трубопроводов, невозможна без применения теоретических исследований в области механики жидкости. Это означает, что выбор эффективного, экономически выгодного способа промывки трубопровода и его научное обоснование, являясь актуальной задачей развития трубопроводного транспорта, нуждается в разработке физико-математических моделей, описывающих процессы промывки и дезинфекции системы [3,6]. В основе известных к настоящему времени, гидродинамических моделей лежат процессы истечения жидкостей различной вязкости из донного отверстия. В работах [7, 9] описываются процессы движения аномальной жидкости при переменном напоре из вертикальной трубы небольшого диаметра и предложена методика определения эффективного коэффициента вязкости таких жидкостей.

Особенности истечения идеальной жидкости из донного отверстия резервуара формы параболоида вращения, связанные с равномерным движением свободной поверхности, объясняются неравномерностью распределения частиц жидкости по поперечному сечению резервуара [9].

Аналитический подход к определению кинематических характеристик потока жидкости в трубе переменного сечения к экстремальных условиям предложен в построенной математической модели [10]. Динамика газожидкостных смесей двухфазных потоков в вертикальных трубопроводных системах показана в работах [4, 10, 11].

Однако анализ перечисленных моделей показывает, что в решении проблемы механизма переноса частиц загрязнённым потоком промывочной среды нет полного понимания. Кроме того, отсутствуют сведения о гидрохимической промывке, которая используется в водопроводной и отопительной системах, нуждающихся не только в регулярных промывках, но и в проведении дезинфекционных работ в водопроводах перед сдачей в эксплуатацию после проведения ремонтных мероприятий.

С этой целью в водопроводную систему закачивается, как правило, раствор гипохлорида натрия [2]. Результат такого способа промывки проявляется в том что твердые отложения во внутренностях труб переводятся в состояние раствора [2, 6]. Эффективность применения его состоит в рациональном расходовании промывающего материала, оптимальной скорости его движения по трубам и временем взаимодействием с внутритрубной поверхностью в условиях промывки и дезинфекции. Решение данной проблемы, по крайней мере, для вертикальных трубопроводов возможно с помощью предлагаемой гидроди-

намической модели осесимметричного истечения ньютоновской жидкости, моделирующей промывочную среду, сквозь донное регулируемое круглое отверстие. Построение предлагаемой модели основывается на следующих допущениях:

- ✓ моделируемая среда полностью заполняет внутренность вертикально расположенного трубопровода (например, водопроводного, канализационного или отопительного стояка);
- ✓ жидкость промывочной среды несжимаема;
- ✓ режим, осесимметричного течения среды ламинарный, без образования воронки на свободной поверхности;
- ✓ моделируемая среда имеет некоторый центр масс и реологически ведет себя как твердое тело.

Структурная схема движения промывочной жидкости по вертикальной трубе представлена на рис. 1.

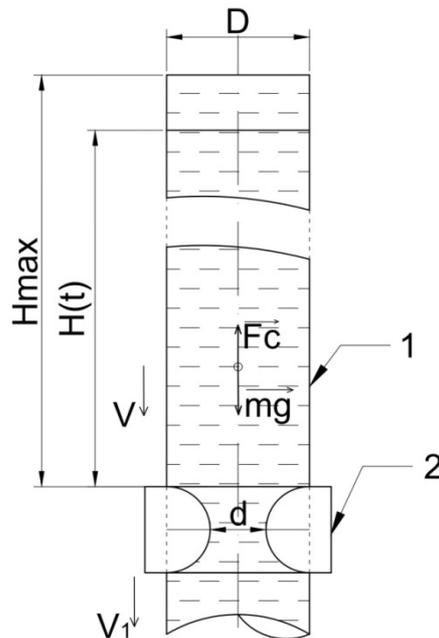


Рис. 1. Принципиальная схема течения вязкой жидкости при опорожнении вертикальной трубы сквозь регулируемый слив: 1 – стенка трубы; 2 – шланговая задвижка

На приведенной схеме (рис.1): V – скорость движения моделируемой среды; V_1 – скорость среды в момент слива; $H(t)$ – высота столба жидкости в процессе слива; t – время опорожнения; H_{\max} – максимальная высота жидкости относительно сливного отверстия; \overline{F}_c – сила сопротивления; \overline{mg} – сила тяжести жидкости [12].

Согласно условию неразрывности потока, для произвольного сечения заполненного трубопровода и сечения сливного отверстия, справедливо равенство:

$$VD^2 = V_1d^2, \quad (1)$$

где D и d – диаметры трубы и регулируемого отверстия соответственно. Для этих же сечений уравнение Бернулли для идеальной жидкости запишется в виде:

$$p + \rho qH + \frac{\rho V^2}{2} = p_1 + \rho qH_1 + \frac{\rho V_1^2}{2}. \quad (2)$$

Если предположить начальное заполнение трубы на высоту H , то в отсутствии внешних давлений уравнение (2) примет вид:

где $\rho qH = \frac{\rho V_1^2}{2}$, представляющий собой известную формулу Торричелли, позволяющую определить скорость истечения:

$$V_1 = \sqrt{2gH}, \quad (3)$$

которая с учетом условия (1) запишется в виде для скорости движения жидкости в произвольном сечении трубы.

$$V = \left(\frac{d}{D}\right)^2 \sqrt{2gH}. \quad (4)$$

Следует заметить, что все это получено из представлений об идеальности моделируемой жидкости и соответствует лишь стационарному режиму в отсутствии вязкости. На самом же деле, слив реальной (вязкой) жидкости испытывает сопротивление со стороны стенок трубы.

Для описания процесса истечения вязкой жидкости, полностью заполняющей внутритрубное пространство, можно представить его как движение тела определенной массы с некоторым центром тяжести (масс). При движении такого тела в процессе слива центр тяжести его будет, перемещаться с определенной скоростью, а само тело (остающаяся жидкость в трубе) изменять массу.

Для такого модельного представления процесса истечения для промывающей среды можно применить закон движения, тела с переменной массой под действием сил тяжести \overline{mg} и сопротивления $\overline{F_c}$ [13], уравнение которого в скалярной форме имеет вид:

$$\frac{d}{dt}(mV) = F + V_1 \frac{dm}{dt}, \quad (5)$$

где $F = mg - F_c$; V, m – скорость и масса центра тяжести соответственно; m – масса жидкости, заполняющей полость трубы; V_1 – скорость вытекающей струи (скорость удалившейся массы среды); $F_c = K\rho gH$ – сила сопротивления при движении вязкой жидкости; ρ – плотность вещества; K – коэффициент сопротивления.

Подставляя используемые обозначения в уравнение (5), получим:

$$V \frac{dm}{dt} + m \frac{dV}{dt} = mg - K\rho gH + V \left(\frac{d}{D}\right)^2 \frac{dm}{dt}. \quad (6)$$

Учитывая, что $m = \frac{\pi D^2}{4} \rho H$, а $\frac{dH}{dt} = V$, получим преобразованное уравнение (6):

$$\frac{dV}{dH} = \frac{V}{H} \left(\frac{S}{S_0} - 1\right) + \frac{q(S_0 - K)}{VS_0}, \quad (7)$$

где S_0 и S – площади поперечного сечения регулируемого отверстия и трубы соответственно.

Коэффициент сопротивления является следствием движения жидкости в трубе под действием сил тяжести, трения о её стенки и сопротивлением задвижки регулируемого слива. Поэтому величину K можно найти из следующих соображений: при $d = 0$ (соответствует случаю полностью закрытой задвижке) сила сопротивления F_c равна весу жидкости, заполняющей трубу.

$$F_c = mg = \frac{1}{4} \pi D^2 \rho qH. \quad (8)$$

Учитывая, что F_c прямо пропорциональна давлению моделируемой среды на стенки трубы P , получим из (8) максимальное значение коэффициента K :

$$K_{\max} = S_0. \quad (9)$$

При $d = D$ (полностью открытая задвижка) сила сопротивления становится равной нулю с коэффициентом $K_{\min} = 0$. Тогда изменения K в указанном диапазоне в общем случае можно представить в виде K_0 :

$$K_0 = S_0 - S, \quad (10)$$

Принимая во внимание действие сил сопротивления со стороны боковой поверхности трубопровода, равной:

$$S_0 = \pi DH, \quad (11)$$

получим общее выражение для коэффициентов сопротивления K :

$$K = K_0 + K_1 LH \frac{S}{S_0}, \quad (12)$$

где $L = \pi D$ – длина окружности поперечного сечения трубы; K_1 – коэффициент трения о боковую поверхность трубы площадью (11).

При подстановке (12) в (6) получим уравнение движения жидкости в вертикальной трубе с регулируемым сливом:

$$\frac{dV}{dH} = \frac{V}{H} \left(\frac{S}{S_0} - 1 \right) + \frac{qS}{VS_0} - 4K_1 \frac{S}{S_0} \frac{qH}{VD}, \quad (13)$$

решение которого для принятых обозначений:

$$a = \frac{S}{S_0} - 1; b = q \frac{S}{S_0}; c = 4K_1 \frac{S}{S_0} \frac{q}{VD}, \quad (14)$$

определяется формулой:

$$V = \sqrt{\frac{2bH}{1-2a} - \frac{2H^2d}{1-c}}, \quad (15)$$

которая при $\frac{S}{S_0} = 1$ вырождается в известную формулу Торричелли.

Отметим, что при решении уравнения (13) не учитывалась зависимость коэффициента K_1 от степени вязкости и скорости движения жидкости. В случае ламинарного режима течения в диапазоне изменения $K_1 = (10^{-2} \div 10^{-8})$, m^2 его можно представить выражением [9]:

$$K_1 = \frac{64}{Re} = \frac{128\nu}{VD}, \quad (16)$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости; Re – критерий Рейнольдса.

Подстановкой (16) в (13) можно получить более точное уравнение течения жидкости:

$$\frac{dV}{dH} = \frac{V}{H} \left(\frac{S}{S_0} - 1 \right) + \frac{qS}{VS_0} - \frac{256\nu qH}{(VD)^2} \frac{S}{S_0}, \quad (17)$$

Уравнение (17) не имеет аналитического решения, поэтому для нахождения зависимости течения от высоты столба жидкости в трубе при различных $\frac{S}{S_0}$ необходимо использовать численные методы [13]. Однако при условиях $V = const$, $\frac{dV}{dH} = 0$ можно свести уравнение (17) к виду, удобному для интегрирования.

Действительно, решая это уравнение при $\frac{dV}{dH} = 0$ относительно $\left(\frac{S}{S_0}\right)$, можно найти закон изменения степени открытия задвижки сливного отверстия в зависимости от величины столба жидкости, обеспечивающий стабильное опорожнение при выбранных D и V :

$$\left(\frac{S}{S_0}\right) = \frac{V^3 D^2}{VD^2(V^2 + gH) - 256\nu gH^2}, \quad (18)$$

С помощью соотношения (18) можно построить систему управления степенью очистки внутренней поверхности вертикального трубопровода.

Известно, что при малой вязкости движения жидкости на её свободной поверхности может образоваться воронка (19), свидетельствующая о турбулентном режиме течения. В этих условиях коэффициент трения жидкости K_1 о внутреннюю поверхность трубы можно определить по эмпирической формуле Альтшуля. [9]

$$K_1 = 0,1 \left(\frac{1,46K_3}{D} + \frac{100}{Re} \right)^{0,25}, \quad (19)$$

в котором K_3 – табличное значение эффективного коэффициента трубы.

Анализ выражения (15) позволяет оценить геометрические параметры трубопровода, при которых возможен слив промывочной среды при заданном значении коэффициента K_1 . Таким условием при положительном значении подкоренного выражения (15) является выполнение неравенства:

$D \geq 4K_1 H_{\max}$, а это говорит о том, что при определенных значениях коэффициента вязкости моделируемой среды слив её станет невозможным.

Об этом наглядно свидетельствуют результаты графических исследований для труб определенных габаритов, полученных на основе формулы (15) при некоторых параметрах вязкости, заимствованных из работы [12] и изображенных на рис. 2.

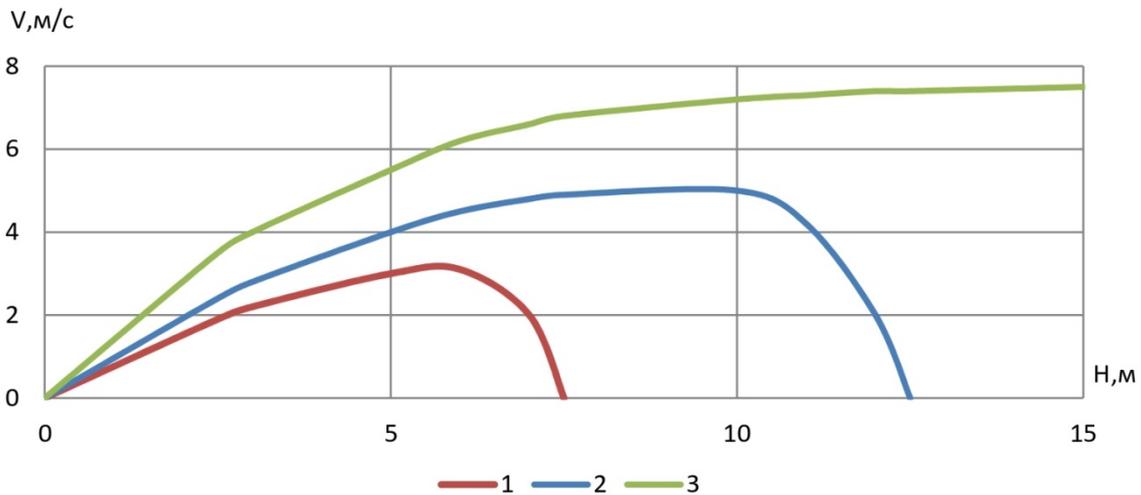


Рис. 2. Влияние вязкости жидкости на скорость опорожнения вертикального цилиндрического трубопровода при $d = 0,072$ м и $D = 0,2$ м в условиях ламинарного течения жидкостей с различными

коэффициентами кинематической вязкости: $1 - \nu = 5 \cdot 10^{-4} \frac{M^2}{c}$, $2 - \nu = 10^{-4} \frac{M^2}{c}$, $3 - \nu = 10^{-5} \frac{M^2}{c}$

По графикам, приведенным на рис. 2 видно, что нестабильность скорости слива растет с увеличением вязких свойств жидкости. Задача же управления процессом промывки внутренних поверхностей труб состоит в обеспечении постоянной скорости слива как можно в большем диапазоне изменения высоты столба жидкости.

Такую возможность можно обеспечить регулировкой степени открытия задвижки за счет изменения диаметра сливного отверстия d в зависимости от уровня исследуемой среды относительно сливного отверстия.

Таким образом, показано, что при некоторых значениях вязкости процесс истечения не возможен, так как сила сопротивления стенок трубы становится больше массовых сил.

Заключение.

На базе предложенной гидродинамической модели промывки гидрохимическим методом вертикальных трубопроводов с регулируемым сливом получено аналитическое выражение, которое при использовании закона динамики о движении центра тяжести промывочной среды с уменьшаемой массой, в условиях промывки, позволяет связать скорость его движения с высотой столба моделируемой жидкости относительно регулируемого слива;

На основе анализа графических зависимостей выявлено существование геометрической границы, при которой реальный слив промывочной среды невозможен при фиксированных коэффициентах вязкости, соотношения диаметров трубы и сливного отверстия, а также диапазон стабильной скорости истечения жидкости.

Совместный анализ полученных выражений и графических зависимостей позволяет определить закономерность параметрического управления задвижкой, в зависимости от текущей высоты столба при различных диаметрах трубы и вязкости жидкости.

Предложенная гидродинамическая модель позволяет контролировать скорость процесса и время контактирования жидкости с внутренней поверхностью трубы, что определяет качественную промывку и возможность её применения в решении других проблем, например, в покраске внутренностей трубопровода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Волобуев, Д. А.** Современные методы прочистки труб / Д. А. Волобуев // Сантехник. – 2003. – № 2. – С. 46-51.
2. **Бразо, Р. Х.** Очистка водопроводных систем жилых помещений от химических загрязненных веществ путем промывки / Р. Х. Бразо, Дж. А. Уэлтон // Экологические науки. Водный ресурс. Технология. – 2015. – № 1. – С. 787-799.
3. Эффективные методы прочистки трубопроводов / В. А. Орлов, В. А. Нечитаева, И. О. Богомолова, Ю. А. Шайхетдинова, Ю. Ф. Даминова // Вестник МГСУ. – 2014. – № 1. – С.132-140.
4. **Стенин, В. А.** Математическое моделирование промывки гидравлических систем / В. А. Стенин // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2016. – № 4. – С. 46-48.
5. **Галиев, Р. Р.** Инновационные технологии в системах теплоснабжения / Р. Р. Галиев // Вестник УГАЭС. Наука, образование, экономика. – 2014. – № 1(7). – С.165-168.
6. **Муфтахова, Д. Р.** Дисперсный метод промывки системы отопления / Д. Р. Муфтахова // Строительство универсальных зданий и сооружений. – 2016. – Т.7в. – № 8(47). – С. 8-16.
7. Реологическое моделирование истечения жидкости при переменном напоре из вертикального трубопровода / Б. М. Кумицкий, С. Г. Тульская, Н. А. Апаринков, М. А. Сарычев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации.– 2014. – № 4(9). – С. 19-23.
8. **Муфтахова, Д. Р.** Дисперсный метод промывки системы отопления / Д. Р. Муфтахова // Строительство универсальных зданий и сооружений. – 2016. – Т. 76. – № 8(47). – С. 8-16.

9. **Кумицкий, Б. М.** Использование принципов гидромеханики в решении проблем с/х потребителей / Б.М. Кумицкий, Н.А. Саврасова, Д.Н. Афоничев // Вестник ВГАУ. – 2019. – Т. 12. – № 2(61). – С. 84-91.

10. **Аринштейн, Э. А.** Математическая модель течения жидкости в трубе переменного сечения / Э. А. Аринштейн, Д. К. Токарев // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Физика. – 2016. – Т. 11. – № 4. – С. 61-67.

11. **Дубин, С. М.** Математическое моделирование гидродинамики газожидкостных смесей в трубопроводных системах / С. М. Дубин, А. Н. Шиповалов, Д. В. Новицкий // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 11. – С. 252-254.

12. **Скворцов, Б. В.** Математическое моделирование регулируемого слива вязкой жидкости из вертикальной трубы / Б. В. Скворцов, М. И. Голикова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14 – № 4. – С. 288-292.

13. **Корн, Г.** Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – Москва: Наука. – 1974. – 832 с.

Поступила в редакцию 14 марта 2025

HYDRODYNAMIC MODELING OF THE VERTICAL PIPELINE FLUSHING PROCESS

B. M. Kumitsky, E. V. Plaksina, A. I. Kalinina

Boris Mikhailovich Kumitsky, Cand. Sc. (phys. and math.), Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(999)4016087; e-mail: boris-kum@mail.ru

Elena Vladimirovna Plaksina, senior lecturer of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(950)7602631; e-mail: eplaksina@cchgeu.ru

Alina Igorevna Kalinina, senior lecturer of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(930)4070852; e-mail: aikalinina@cchgeu.ru

The article presents the results of a study of flushing vertical pipes used for domestic and drinking purposes (water supply and sanitation), in heating systems, transportation of petroleum products, etc. The solution to the problem under consideration is based on a hydrodynamic model of axisymmetric flow of Newtonian fluid from a vertical pipeline through a round bottom opening of adjustable cross-section. In this case, it is assumed that the pipe under study is completely filled with a viscous liquid, which is a continuous medium with a certain center of mass, the position of which changes during the axisymmetric outflow. Incompressibility of the simulated medium with a laminar flow regime without the formation of a funnel (a flat free surface) is also allowed, and the liquid during the flushing process rheologically behaves like a solid body. The analytical expressions obtained on the basis of such assumptions indicate the relationship between the speed of movement, the center of mass of the flushing liquid and its height in the pipe relative to the adjustable drain opening. In addition, we describe the dependence of the geometric parameters of the discharge opening cross-section on the height of the liquid column of varying viscosity. This makes it possible to control the flushing process of vertical pipelines.

Keywords: viscosity; center of mass; adjustable drain.

REFERENCES

1. **Volobuev D. A.** *Modern methods of cleaning pipes.* Plumbing. 2003. No. 2. Pp. 46-51. (in Russian)

2. **Brazeau R. H., Welton J. A.** *Cleaning water supply systems of residential premises from chemical pollutants by flushing*. Ecological sciences. Water resource. Technology. 2015. No. 1. Pp. 787-799. (in Russian)
3. **Orlov V. A., Nechitaeva V. A., Bogomolova I. O., Shaikhetdinova Yu. A., Daminova Yu. F.** *Effective methods of cleaning pipelines*. Bulletin of MGSU. 2014. No. 1. Pp. 132-140. (in Russian)
4. **Stenin V. A.** *Mathematical modeling of flushing hydraulic systems*. Bulletin of Cherepovets State University. 2016. No. 4. Pp. 46-48. (in Russian)
5. **Galiev R. R.** *Innovative technologies in heat supply systems*. Bulletin of UGAES. Science, education, economics. 2014. No. 1(7). Pp. 165-168. (in Russian)
6. **Muftakhova, D. R.** *Disperse method of flushing the heating system*. Construction of universal buildings and structures. 2016. V. 7. No. 8(47). Pp. 8-16. (in Russian)
7. **Kumitsky B. M., Tulskeya S. G., Aparinov N. A., Sarychev M. A.** *Rheological modeling of liquid flow under variable pressure from a vertical pipeline*. Urban development. Infrastructure. Communications. 2014. No. 4(9). Pp. 19-23. (in Russian)
8. **Muftakhova D. R.** *Disperse method of flushing the heating system*. Construction of universal buildings and structures. 2016. V. 76. No. 8(47). Pp. 8-16. (in Russian)
9. **Kumitsky B. M., Savrasova N. A., Afonichev D. N.** *Using the principles of hydromechanics in solving the problems of agricultural consumers*. Bulletin of VSTU. 2019. V. 12. No. 2(61). Pp. 84-91. (in Russian)
10. **Arinshtein E. A., Tokarev D. K.** *Mathematical model of fluid flow in a pipe of variable cross section*. Bulletin of the Novosibirsk State University. Series: Physics. 2016. V. 11. No. 4. Pp. 61-67. (in Russian)
11. **Dubin S. M., Shipovalov A. N., Novitsky D. V.** *Mathematical modeling of hydrodynamics of gas-liquid mixtures in pipeline systems*. Modern science-intensive technologies. 2016. No. 11. Pp. 252-254. (in Russian)
12. **Skvortsov B. V., Golikova M. I.** *Mathematical modeling of controlled discharge of viscous fluid from a vertical pipe*. Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2012. V. 14. No. 4. Pp. 288-292. (in Russian)
13. **Korn G., Korn T.** *Handbook of Mathematics for Scientists and Engineers*. Moscow, Science. 1974. 832 p. (in Russian)

Received 14 March 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Кумицкий, Б. М. Гидродинамическое моделирование процесса промывки вертикальных трубопроводов / Б. М. Кумицкий, Е. В. Плаксина, А. И. Калинина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 1(32). – С. 75-83. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.008.

FOR CITATION:

Kumitsky B. M., Plaksina E. V., Kalinina A. I. *Hydrodynamic modeling of the vertical pipeline flushing process*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 1(32). Pp. 75-83. DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.008. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.009

УДК 628.112.24

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ФИЛЬТРЫ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

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

Приведена характеристика негативных химических процессов, вызванных агрессивными и коррозионными свойствами подземных вод, добываемых на территории Воронежской области. Дана характеристика процесса образования слоя обрастаний водозаборных скважин, обусловленного наличием в воде двухвалентного железа и марганца, что создает благоприятные условия для развития сульфатредуцирующих бактерий. Представлены результаты оценки подземных вод водоподъёмных станций, полученные за десятилетний период на действующих водоподъёмных станциях по показателю Ризнера и концентрации в воде водородных ионов рН. Приведены сводные результаты влияния химического состава подземных вод на эффективность работы фильтра скважины на действующих водоподъёмных станциях с разделением по типу подземных вод. Даны рекомендации для предупреждения уменьшения дебита водозаборных скважин на действующих водоподъёмных станциях.

Ключевые слова: подземные воды; фильтры водозаборных скважин; показатель Ризнера.

Важную роль в развитии жилищно-коммунального хозяйства в части водоснабжения играет поддержание постоянной производительности водозаборов в течении всего периода эксплуатации [1...3]. Основной причиной преждевременного выхода из строя водоподъёмного оборудования и фильтров, установленных в водозаборных скважинах, является коррозия и кольматаж [3...6]. Эти негативные химические процессы вызваны агрессивными и коррозионными свойствами подземных вод [7...9], добываемых на территории Воронежской области.

На рис. 1 представлен схематический разрез участка (водоподъёмной станции) ВС в абсолютных отметках с указанием пьезометрической поверхности подземных вод.

За десятилетний период наблюдений на поверхности водоподъёмного оборудования и фильтровальных труб образовался слой обрастаний. В этом слое при наличии в воде двухвалентного железа и марганца складываются благоприятные условия для развития сульфатредуцирующих бактерий. Образующая рыхлая плёнка способствует уменьшению сечений, росту гидравлических сопротивлений и снижению пропускной способности оборудования скважин. Жизнедеятельность сульфатредуцирующих бактерий является основной причиной коррозии на ВС (водоподъёмных станциях) Воронежской области.

За исследуемый десятилетний период проведена оценка подземных вод ВС к выделению кольматирующих образований с использованием показателя Ризнера, по формуле:

$$R = 2pH_s - pH \quad (1)$$

где, рН – концентрация в воде водородных ионов; рН_s – величина равновесного состояния, определяемая по формуле:

$$pH_s = 11,25 - \lg(Ca^{2+}) - \lg(10HCO_3^-) \quad (2)$$

где, Ca²⁺ – содержание ионов Ca, мг-экв/л; lg(HCO₃⁻) – содержание ионов HCO₃, мг-экв/л.

С помощью индекса Ризнера определяется возможность выпадения осадка или развитие коррозии, также этот параметр показывает степень насыщенности углекислым

кальцием. При показателе Ризнера $R > 7,5$ подземные воды коррозионноактивные, при $7,5 > R > 6$ возможно развитие процессов коррозии и кольматажа, при $R > 6$ в воды выделяются кольматирующие образования.

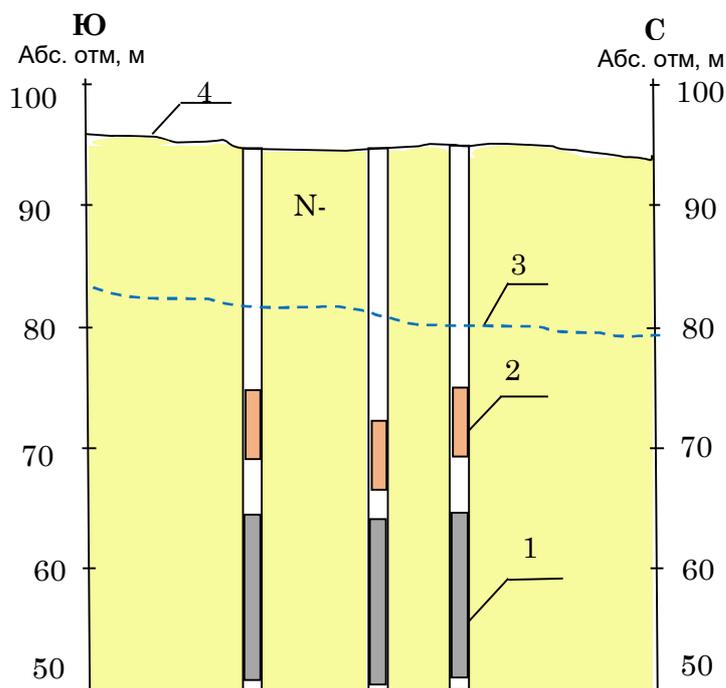


Рис. 1. Схематический гидрогеологический разрез участка ВС:
N-Q водоносный неоген-четвертичный песчаный комплекс; 1 – фильтр скважины;
2 – погружной насосный агрегат; 3 – пьезометрическая поверхность подземных вод;
4 – уровень поверхности земли

Концентрация в воде водородных ионов рН определяет её активную реакцию. При нейтральной реакции $pH = 7$, при кислой $pH < 7$, щелочной $pH > 7$.

В табл. 1 представлены результаты, полученные на действующих ВС Воронежской области по показателю Ризнера, концентрации в воде водородных ионов рН, а также классификация подземных вод по Щукареву С. А., в основу которой положены данные химических анализов.

Таблица 1

Характеристики подземных вод на исследуемых водоподъемных станциях

Номер ВС	Показатель Ризнера	Реакция, рН	Показатель по данным химических анализов (по С. А. Щукареву)
ВС-1	4,01...6,32	6,4...7,3	Гидрокарбонатно-сульфатные, кальциевые
ВС-5	4,1...6	7,11...8,3	
ВС-2	3,73...5,84	6,35...8,2	Гидрокарбонатно-кальциевые
ВС-6	3,9...6,01	6,1...7,75	
ВС-7	3,49...5,68	6,73...9,4	
ВС-3	4,11...7,32	6,3...8,15	Гидрокарбонатно-кальциевые магниевые
ВС-4	4,02...5,58	6,7...8	
ВС-8	3,6...5,73	6,35...8	

Данные по величинам рН в целом удовлетворяют требованиям кислотно-щелочному балансу для подземных вод (6...8,5). Однако, ввиду наличия сероводорода и серосодержащих соединений, равновесие неустойчиво и нарушается при незначительном изменении

pH воды. Происходит выпадение в осадок сульфидов металлов в префильтровой зоне водозаборной скважины. Такой процесс ведёт к колюматации фильтра и префильтровой зоны в основном за счёт увеличения железомарганцевых бактерий.

Все добываемые на ВС гидрокарбонатно-кальциево-магниевые воды для питьевого водоснабжения разделяют по влиянию на фильтры водозаборных скважин и по механическому составу преобладающего осадка. В табл. 2 приведены сводные результаты химических анализов и наблюдений на действующих ВС-1...ВС-8 с разделением по типу подземных вод.

Таблица 2

Влияние химического состава подземных вод на эффективность работы фильтра скважины

Тип подземных вод	Основные показатели	Преобладающий осадок	Влияние на фильтр скважины
Агрессивные	$R > 7$ $Fe < 0,3$ мг/л (Fe) железо	-	Поломка и (или) разрушение слоёв фильтра: защитного экрана, дренажного слоя, фильтрующей сетки; Повышенный износ обсадных труб
Вызывающие зарастание фильтра соединениями железа	$R < 7,5$ $Fe > 0,3$ мг/л	$Fe(OH)_3$	Зарастание фильтра и гравийной обсыпки соединениями железа
Вызывающие зарастание фильтра солями жёсткости	$R < 6$ $Fe < 0,3$ мг/л	$CaCO_3$	Интенсивное зарастание проволочных, сетчатых и гравийных фильтров соединениями кальция
Вызывающие зарастание фильтра силикатными и алюмосиликатными соединениями	Al_2O_3 или $SiO_2 \times nH_2O > 10$ мг/л ($SiO_2 \times nH_2O$) гидратированный диоксид кремния	Коагели взаимного осаждения: кремниевой кислоты (H_2SiO_3), окислов алюминия (Al_2O_3) и гидроокислов железа	Зарастание фильтра и обсыпки желеобразными и пастообразными соединениями, впоследствии приобретаемую высокую твёрдость
Вызывающие зарастание фильтра продуктами жизнедеятельности бактерий	$Fe > 0,3$ мг/л $pH < 7$ минерализация не более 1 г/л	Соединения железа и марганца	Зарастание фильтра и обсыпки независимо

Для эффективной работы фильтров водозаборных скважин и предупреждения уменьшения их дебита на действующих ВС необходимы следующие мероприятия:

- ✓ использование для фильтров устойчивых к коррозии материалов;
- ✓ увеличение мощность гравийной обсыпки, переход на многослойную обсыпку;
- ✓ поддержание динамического уровня воды на 5...6 м выше отметки верхнего рабочего колеса ступени насоса ЭЦВ (электрический центробежный вертикальный);
- ✓ при зарастании фильтра каждые 6-8 месяцев ревизия, разборка и чистка насосов и водоподъёмной колонны, солянокислотная и гидроимпульсная обработка;
- ✓ один раз в год механическая очистка скважины и прокачка с дебитом в 1,5...2 раза больше эксплуатационного.

Заключение.

На основе проведенных исследований на действующих водоподъёмных станциях Воронежской области за десятилетний период определена возможность возникновения

кольматажа фильтров и прифильтровых зон скважин по результатам химических анализов с использованием индекса Ризнера.

Определен характер влияния химического состава подземных вод на эффективность работы фильтра водозаборной скважины по типу подземных вод.

Основываясь на полученных результатах, даны рекомендации для предупреждения уменьшения дебита водозаборных скважин на действующих водоподъемных станциях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Али, М. С.** Насосные станции / М. С. Али, Д. С. Бегляров, П. А. Михеев // Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования. – Новочеркасск. – 2022. – 176 с.

2. **Медведева, Ю. А.** Расчет режимов регенерации водозаборных скважин методом линейного свабирования в замкнутых камерах / Ю. А. Медведева, И. Е. Амелишко, В. В. Ивашечкин // Мелиорация. – 2023. – № 1(103). – С. 31-38

3. **Пурусова, И. Ю.** Эксплуатация действующих насосных станций / И. Ю. Пурусова // Учебно-методическое пособие. Электронный ресурс. – Воронеж. – 2023. – С.68.

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. **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.

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. **Русакова, Ю. О.** Анализ основных факторов, определяющих значение удельного дебита водозаборной скважины / Ю. О. Русакова, А. Г. Плавник, М. В. Вашурина, А. Л. Храмова // Известия Уральского государственного горного университета. – 2023. – № 1(69). – С. 78-87.

8. **Purusova I., Chizhik K., Tolstoy M., Popova E.** Simulation of water supply control on water intakes facilities from underground sources / I.Purusova, K.Chizhik, M.Tolstoy, E.Popova // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 141. – Pp. 03018. (in Russian)

9. **Major, A.** Disruptor in The Pump Industry / A. Major // World Pumps. – 2024. – Vol. 2024. – Issue 669. – Pp. 37.

Поступила в редакцию 17 февраля 2025

INFLUENCE OF UNDERGROUND WATER COMPOSITION ON FILTERS OF WATER INTAKE WELLS

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

The article provides a description of negative chemical processes caused by aggressive and corrosive properties of underground waters extracted in the Voronezh Region. It also provides a description of the process of formation of a fouling layer on water intake wells, caused by the presence of divalent iron and manganese in the water, which creates favorable

conditions for the development of sulfate-reducing bacteria. The article presents the results of the assessment of groundwater at water-lifting stations obtained over a ten-year period at operating water-lifting stations using the Riesner index and the concentration of hydrogen ions in water pH. The article presents the summary results of the influence of the chemical composition of groundwater on the efficiency of the well filter at operating water-lifting stations with division by the type of groundwater. I as well give some recommendations for preventing a decrease in the flow rate of water intake wells at operating water-lifting stations.

Keywords: underground water; filters of water intake wells; Riesner index.

REFERENCES

1. **Ali M. S., Beglyarov D. S., Mikheev P. A.** *Pumping stations*. Novocherkassk, Text-book for students of institutions of higher professional education. 2022. 176 p. (in Russian)
2. **Medvedeva Yu.A. Amelishko I. E., Ivashchkin V. V.** *Calculation of regeneration modes of water intake wells by linear swabbing in closed chambers*. Land Reclamation. 2023. No. 1(103). Pp. 31-38. (in Russian)
3. **Purusova I. Yu.** *Operation of existing pumping stations*. Voronezh, Educational and methodical manual. Electronic resource. 2023. 68 p. (in Russian)
4. **Purusova I. Yu.** *Reasons for the decrease in productivity of borehole pumps in water management systems*. Housing and communal infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 51-58. (in Russian)
5. **Purusova I. Yu. Chizhik K. I.** *Modeling of water supply control at water intakes from underground sources*. News of higher educational institutions. Construction. 2024. No. 5(785). Pp. 94-100. (in Russian)
6. **Shcherbakov V. I., Purusova I. Yu.** *Analysis of the joint work of water intake structures from underground sources*. In the book: Methodology of environmental safety Program and abstracts of the IV Crimean International Scientific and Practical Conference. Edited by: A. T. Dvoretzky, T. V. Denisova, A. E. Maksimenko. 2017. Pp. 85. (in Russian)
7. **Rusakova Yu. O., Plavnik A. G., Vashurina M. V., Khramtsova A. L.** *Analysis of the main factors determining the value of the specific flow rate of a water intake well*. Proceedings of the Ural State Mining University. 2023. No. 1(69). Pp. 78-87. (in Russian)
8. **Purusova I., Chizhik K., Tolstoy M., Popova E.** *Simulation of water supply control on water intakes facilities from underground sources*. BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 141. Pp. 03018. (in Russian)
9. **Major A.** *Disruptor in The Pump Industry*. World Pumps. 2024. Vol. 2024. No. 669. Pp. 37.

Received 17 February 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Пурусова, И. Ю. Влияние состава подземных вод на фильтры водозаборных скважин / И. Ю. Пурусова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 1(32). – С. 84-88. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.009.

FOR CITATION:

Purusova I. Yu. *Influence of underground water composition on filters of water intake wells*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 1(32). Pp. 84-88. DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.009. (in Russian)

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ,
РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО**
**URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION, RESTORATION
AND LANDSCAPING**

DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.010

УДК 711.7:625.748.2

**ОБОСНОВАНИЕ СОЗДАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОН
ДОРОЖНОГО СЕРВИСА НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Н. В. Коростелева, Д. В. Полонский

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

Полонский Дмитрий Викторович, магистрант Института Архитектуры и Строительства, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(442)23-00-76; e-mail: dima.ic@inbox.ru

Неравномерность формирования и организации транспортной инфраструктуры различных регионов Российской Федерации замедляет развитие общего экономического пространства страны. Транспортная система Волгоградской области, в связи с её выгодным географическим положением и туристическим потенциалом, является важным элементом транспортной инфраструктуры всего государства. В качестве приоритетного направления улучшения состояния и повышения конкурентоспособности транспортной инфраструктуры Российской Федерации выделяют проблемы организации придорожного сервиса. Рассмотрены предпосылки к необходимости улучшения состояния транспортной инфраструктуры Волгоградской области с помощью решения проблем в организации придорожной инфраструктуры. В качестве важного элемента, позволяющего повысить качество функционирования придорожного сервиса, предлагается создание многофункциональных зон. На основе анализа мирового опыта доказываётся важность внедрения в транспортную инфраструктуру региона именно многофункциональных зон дорожного сервиса. Проведена оценка текущего состояния придорожной инфраструктуры области, выявлены основные недостатки и слабые стороны, предложены рекомендации по улучшению ситуации. Разработанные предложения позволят повысить конкурентоспособность транспортной инфраструктуры Волгоградской области и будут способствовать развитию экономического пространства Российской Федерации.

Ключевые слова: транспортная система; придорожная инфраструктура; придорожный сервис; многофункциональные зоны дорожного сервиса

Ежегодный рост автомобилизации, развитие автоперевозок и увеличение дальности поездок в стране приводит к возрастанию потребности в улучшении качества транспортной системы. Кроме того, совершенствование транспортной системы России является одним из ключевых факторов социально-экономического развития страны.

Одним из важных элементов данной системы является придорожная инфраструктура, которая способствует увеличению интенсивности транспортных сообщений, безопасности и бесперебойности движения и повышению конкурентоспособности транзитных маршрутов через территорию РФ [1, 2].

Придорожная инфраструктура это комбинация различных взаимосвязанных элементов, способствующих повышению эффективности осуществления транспортного сообще-

ния. Она включает в себя объекты придорожного сервиса, расположенные на придорожной полосе, которые должны отвечать всем потребностям человека во время движения по территории страны [3, 4].

Согласно государственным стандартам к объектам придорожного сервиса относятся мотели, гостиницы, кемпинги, станции технического обслуживания, автозаправочные станции, пункты питания, торговли, связи, медицинской помощи, мойки и иные сооружения.

На сегодняшний день состояние придорожного сервиса в России находится в неудовлетворительном состоянии. Анализ существующей ситуации выявил ряд проблем, возникших из-за недостаточного внимания к вопросу удовлетворения возникающих потребностей у пользователей транспортной инфраструктурой. Так, практически не учтён вопрос обеспечения бытовых потребностей человека в дороге, отмечается нехватка объектов, предоставляющих услуги отдыха, связи, медицины и т.п. [5, 6]. Что касается существующих объектов придорожного сервиса, то их организация и обособленное расположение различных элементов на пути следования не способствует эффективности их использования [7].

В связи с этим в Министерстве транспорта России был разработан проект федерального закона «О внесении изменений в Земельный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации». Целью данного документа является стандартизация системы размещения объектов придорожного сервиса для улучшения транспортного сообщения на территории РФ. В документе предлагается вдоль дорог с высокой интенсивностью движения и повышенным скоростным режимом придорожную инфраструктуру организовывать в виде многофункциональных зон (МФЗ), что позволит сократить количество съездов, заездов на пути следования и будет способствовать поддержанию постоянного скоростного режима.

Целью данной статьи является определение основных характерных особенностей и специфики внедрения МФЗ в транспортную инфраструктуру Волгоградской области.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- ✓ обоснована актуальность внедрения систем МФЗ в транспортную инфраструктуру Волгоградской области;
- ✓ проведён анализ опыта внедрения МФЗ в транспортную инфраструктуру у нас в стране и за рубежом;
- ✓ предложен конкретный проект рационального внедрения МФЗ в существующую дорожную сеть области.

Предметом исследования являются факторы, обуславливающие потенциальные возможности использования МФЗ для обеспечения оптимального развития транспортной инфраструктуры региона.

В качестве инструмента исследования использован метод системного анализа.

Волгоградская область входит в состав Южного федерального округа Российской Федерации и имеет выгодное географическое положение, являясь главными воротами на юг России с выходом на Иран, Кавказ, Украину и Казахстан. В обратном направлении на центральную Россию и Поволжье. Таким образом, область обладает благоприятными предпосылками как для развития собственных внешнеторговых и межрегиональных связей, так и для обслуживания транзитных грузопотоков. Регион занимает важное место в системе обеспечения евроазиатских транспортно-экономических связей, в частности, на направлении Китай – Казахстан – Россия – Европа. Роль Волгоградской области на рынке транспортных услуг в перспективе будет постоянно возрастать, что связано с реализацией масштабных проектов по развитию транспортной системы России.

Кроме этого, регион богат природными и этнографическими достопримечательностями, известен героическими подвигами и талантливыми людьми. Здесь на огромной территории, превышающей 400 км с севера на юг и с запада на восток, с благоприятным

климатом и удивительной природой, проживает более 2,5 млн. человек самых разных национальностей, что способствуют развитию внешнего и внутреннего туризма с использованием автомобильного транспорта. Одной из основных проблем, препятствующих развитию туризма, являются существенные недостатки в формировании организационно-сервисного обслуживания региона (рис. 1):

во-первых, наблюдается нехватка объектов сервисного обслуживания;

во-вторых, неравномерное распределение существующих объектов по протяжённости сети автомобильных дорог;

в-третьих, их расположение отрицательно сказывается на безопасности дорожного движения из-за частых примыканий к дорогам, которые не оборудованы переходно-скоростными полосами и другими средствами организации движения;

в-четвёртых, существующие объекты не могут одновременно удовлетворить все потребности путешествующего человека. На сегодняшний день объекты придорожного сервиса располагаются разрозненно либо с возможностью предоставления ограниченного спектра услуг, что препятствует их эффективному использованию и затрудняет движение по автодорогам.

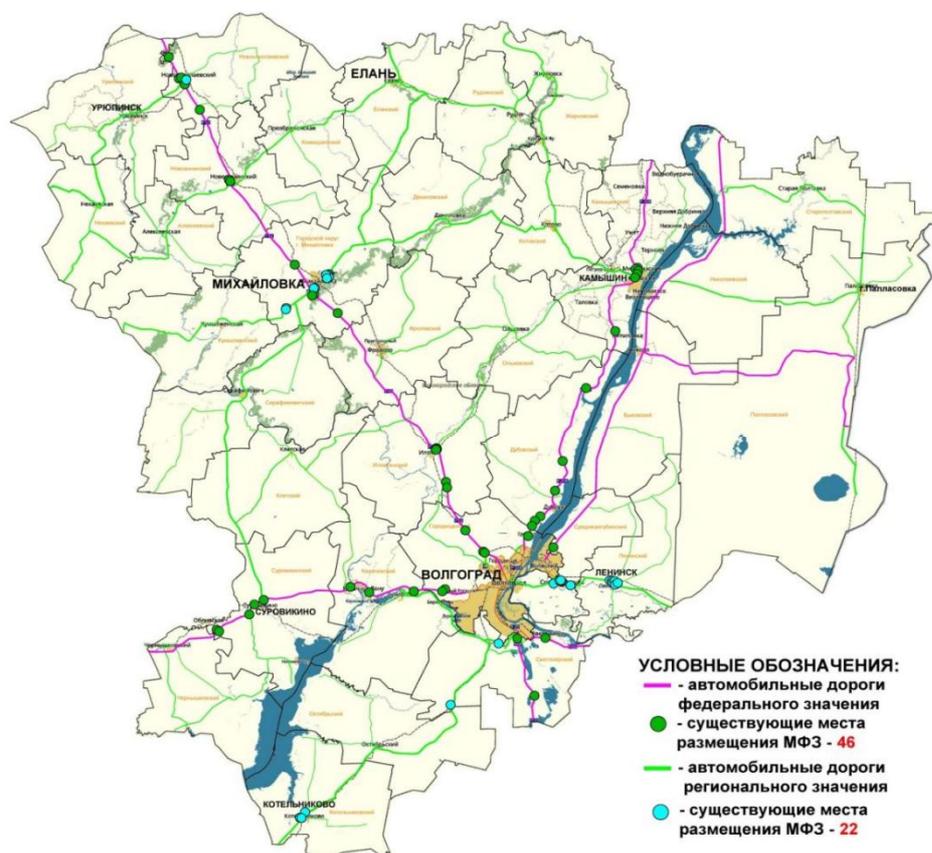


Рис. 1. Территориальное размещение МФЗ вдоль дорог общего пользования федерального, регионального и межмуниципального значения в границах территории Волгоградской области

В настоящее время автомобильные дороги, входящие в опорную сеть РФ и находящиеся в границах территории Волгоградской области, обслуживают около 500 объектов придорожного сервиса, из которых:

✓ автомобильные дороги общего пользования федерального значения – 293 ед., 210 из которых по своему размещению формируют 46 МФЗ;

✓ автомобильные дороги общего пользования регионального или межмуниципального значения – 206 ед., а также 22 ед. существующих МФЗ (два и более объектов придорожного сервиса разного типа, расположенных на одной территории).

Если говорить конкретно о видах объектов, располагающихся вдоль автомобильных дорог общего пользования регионального или межмуниципального значения Волгоградской области, то здесь наблюдается следующая картина:

- ✓ АЗС – 42 ед.;
- ✓ торговые объекты – 75 ед.;
- ✓ гостиницы и отели – 19 ед.;
- ✓ пункты питания – 25 ед.;
- ✓ станции технического обслуживания – 26 ед.;
- ✓ автомойки – 12 ед.;
- ✓ база отдыха – 1 ед.

Таким образом, можно утверждать, что в транспортной инфраструктуре Волгоградской области наблюдается значительный дефицит объектов представления бытовых услуг, услуг связи, медицинских пунктов, пунктов предоставления отдыха и удовлетворения санитарно-гигиенических потребностей.

Выявленные проблемы могут серьёзно снизить социальный и экономический эффект внедрения МФЗ в транспортную сеть региона, поэтому назрела необходимость корректировки транспортной инфраструктуры Волгоградской области.

Чтобы получить максимальный эффект, важно проанализировать существующий опыт внедрения МФЗ в транспортные сети не только у нас в стране, но и в других государствах.

Так, в зарубежной практике благодаря многолетнему опыту сформировался комплексный подход к развитию придорожного сервиса. Помимо обычного сочетания мест для заправки автомобилей и отдыха водителей, большой популярностью пользуются объекты общественного питания и развлечения.

К стране с самой развитой сетью придорожной инфраструктуры на сегодняшний день относится Соединенные Штаты Америки. Её сеть является не только одной из самых ранних из возникших в данной сфере, но и впечатляет своей многофункциональностью (превосходит другие аналоги по степени разнообразия предоставляемых услуг).

Не последнюю роль в этом процессе сыграли платные дороги, т.к. средства, полученные с них, тратились на строительство объектов обслуживания. Кроме этого, данному процессу способствовало использование принципа концессии, основанного на развитии придорожного сервиса за счет привлечения средств частных инвесторов (участки, расположенные вдоль трасс предоставлялись в аренду частным лицам, а не муниципалитетам) [8].

Кроме США в качестве положительных примеров к странам с развитой сетью придорожной инфраструктуры можно отнести многие страны Европы. В качестве примера страны с наиболее частым расположением объектов данного назначения, расположенных вдоль дорог можно привести Италию. По ее территории площадки для отдыха располагаются каждые 50 км вдоль трасс. При этом, все площадки выполнены в едином стиле и содержат одинаковый набор предоставляемых услуг [9].

К странам с не менее развитой инфраструктурой относятся Бельгия, Германия и Нидерланды. Объекты придорожного сервиса в них рассчитаны на людей с разным уровнем достатка и предоставляют достаточно обширный спектр услуг (мотели, магазины, рестораны и т.п.). Кроме этого, все стоянки и автозаправочные станции обустроены на высоком техническом уровне, т.к. поддержка данной сети профильными государственными инстанциями находится на высоком уровне.

Во Франции и Швейцарии объекты придорожного сервиса с полным спектром предоставляемых услуг расположены в пределах 30 км друг от друга. Кроме этого, объекты, расположенные вдоль дорог, проходящих по восточному берегу Женевского озера, оборудованы смотровыми площадками, для возможности любоваться красивыми видами.

Что касается стран Восточной Европы, развитие придорожного сервиса совсем недавно значительно уступали западным аналогам, но за последнее время это отставание стремительно сократилось. Так, к примеру, на территории Польши на центральных трассах наблюдается достаточно развитая инфраструктура, включающая кафе, мотели, автозаправочные станции и мойки машин.

В Беларуси придорожная инфраструктура включает разнообразные объекты для отдыха людей, обслуживания транспорта, торговли и общественного питания. Детальная проработка данного вопроса обуславливается государственным регулированием и пониманием важности роли данной системы в развитии национального туризма [10, 11].

Что касается придорожной инфраструктуры, расположенной на территории Российской Федерации, то на сегодняшний день в данном вопросе выявлено ряд недочётов, что снижает её эффективность. Наблюдается отсутствие разнообразия в функциональном назначении объектов обслуживания (25 % от общего количества объектов составляют автозаправочные станции, а 24 % – магазины). Порядка 70 процентов придорожной инфраструктуры не соответствует санитарным нормам и установленным правилам благоустройства. Кроме этого, есть проблемы с равномерностью размещения данных объектов по всей территории РФ, большая их часть находится вдоль трасс федерального значения в центральной части страны, тогда как на периферии порой присутствуют сложности не только с организацией ночлега и но и с заправкой автомобиля.

На основе многолетнего положительного мирового опыта развития придорожного сервиса у нас в стране было принято решение о внедрении в транспортную сеть многофункциональных зон дорожного сервиса (МФЗ). Анализ опыта внедрения МФЗ показывает, что это решение не только оптимизирует трафик, но и приносит значительную практическую пользу дорожной сети в целом.

Под термином МФЗ понимают комплекс услуг и сервисов для водителей и пассажиров, собранных на одной территории. Здесь можно будет отдохнуть, перекусить, а при необходимости заехать на АЗС. Актуальность создания МФЗ заключается в том, что они помогут уменьшить риски дорожных аварий, сократят время в пути и повысят комфорт как для водителей, так и для пассажиров. Также они будут способствовать развитию местной экономики благодаря созданию новых рабочих мест и стимулированию предпринимательских инициатив. Кроме этого, МФЗ будут способствовать созданию эстетически привлекательной придорожной среды.

На основе выявленных недостатков в существующей транспортной инфраструктуре Волгоградской области, авторами предложен ряд мероприятий по улучшению ситуации в данной области.

Во-первых, предлагается сосредоточиться на формировании именно многофункциональных зон дорожного сервиса, которые позволят обеспечить людей необходимым набором предоставляемых услуг на одной территории.

Но, так как у каждого вида объекта есть определённый радиус обслуживания, да и необходимо учитывать интенсивность трафика по каждой дороге области, то все МФЗ предлагается разделить на ряд видов:

1) Тип А: В них предлагается располагать площадки для отдыха и автостоянки с минимальным количеством 80 машиномест (приоритет отдать грузовым автомобилям), автозаправочные станции (АЗС) с пропускной способностью не менее 1000 заправок в сутки, электростанции с подключаемой мощностью не менее 120 кВт, которые смогут обслуживать как минимум два электромобиля на расстоянии не более 4 метров, а также пункты питания, рассчитанные на не менее чем 100 посадочных мест и отелом. Данные МФЗ рекомендуется располагать на дорогах с высокой интенсивностью движения (дороги общего пользования I и II категории);

2) Тип Б: Многофункциональные зоны (МФЗ) должны включать в себя площадку для отдыха и автостоянку, рассчитанную как минимум на 60 машиномест (приоритет от-

дать грузовым автомобилям). Также предполагается наличие автозаправочной станции (АЗС) с мощностью не менее 750 заправок в сутки и электростанции, подключаемой с мощностью не менее 80 кВт, обеспечивающей парковку минимум для 2 электромобилей, находящихся на расстоянии не более 4 метров от нее. Дополнительно требуется пункт питания, вмещающий не менее 100 посадочных мест и мотелем. Рекомендуется располагать на трассах с умеренной интенсивностью движения (дороги общего пользования II и III категории);

3) Тип В: МФЗ должны быть оснащены площадкой для отдыха и автостоянкой, вмещающей не менее 40 автомобилей (предпочтительно – грузовых), а также автозаправочной станцией с мощностью не менее 500 заправок в сутки и электростанцией с подключаемой мощностью не менее 80 кВт, обеспечивающей возможность парковки минимум 2 электромобилей на расстоянии не более 4 метров от неё. Также необходимо предусмотреть пункт питания на 50 и более посадочных мест и кемпингом. Рекомендуется располагать на трассах с незначительной интенсивностью движения (дороги общего пользования III и IV категории).

Для ликвидации дефицита рассматриваемых объектов по территории Волгоградской области предлагается модернизировать существующие и предусмотреть строительства новых МФЗ на проблемных участках региона (рис. 2).

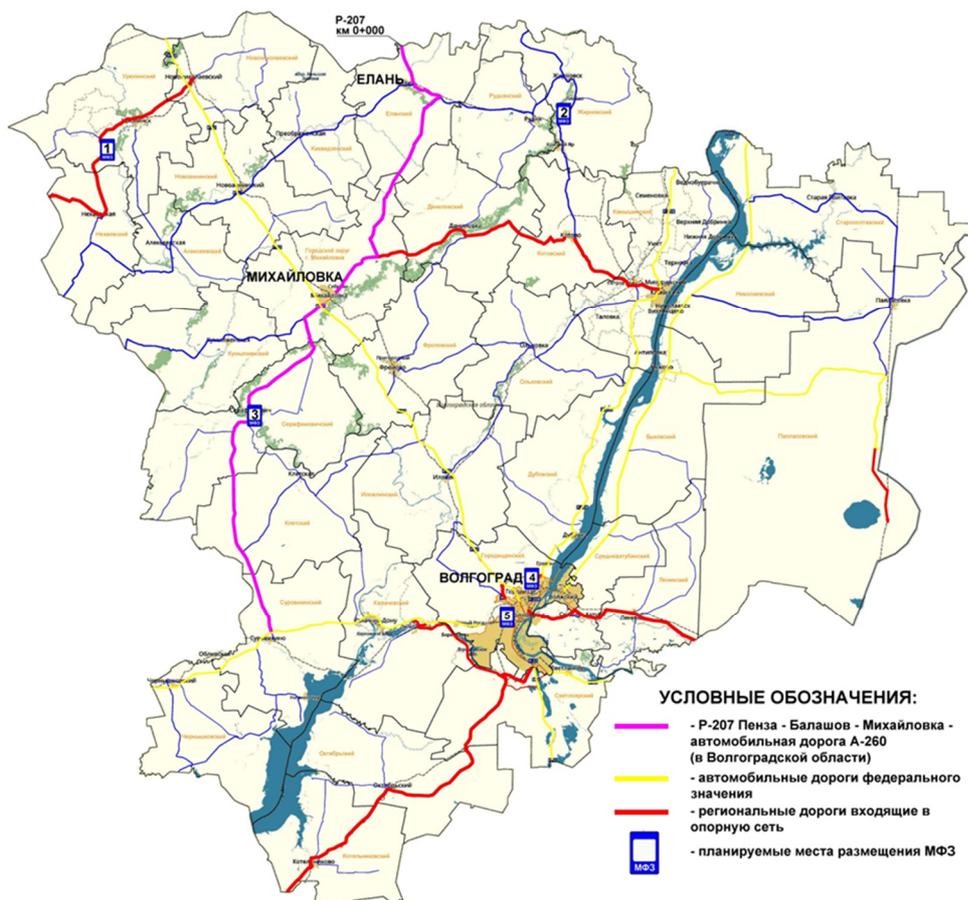


Рис. 2. Проектное предложение по размещению МФЗ вдоль дорог общего пользования федерального, регионального и межмуниципального значения в границах территории Волгоградской области

Так на участках автомобильных дорог «3-я Продольная магистраль» и «ул. Неждановой в районе г. Волгоград», относящихся ко II категории со среднесуточной интенсивностью движения 7000 автомобилей, расположить МФЗ тип А (объекты 4...5 на рис. 2). На участке «Михайловка – Серафимович- Суровикино» расположить МФЗ тип Б (объект 3

на рис. 2), а на участках автомобильных дорог «Новониколаевский – Урюпинск – Нехаевская – Краснополье – Манино» и «Калининск (Саратовская область) – Жирновск – Котово – Камышин» относящихся к IV категории со среднесуточной интенсивностью движения 1000 автомобилей расположить МФЗ тип В (объекты 1...2 на рис. 2).

Таким образом, равномерное внедрение МФЗ (за счёт модернизации существующих и строительство новых) по территории Волгоградской области позволит:

✓ улучшить транспортную инфраструктуру и качество транспортного обслуживания, за счет создания условий для более безопасного и бесперебойного движения по дорогам региона;

✓ повысить конкурентоспособность транзитных маршрутов;

✓ повысить привлекательность автотуризма в регионе;

✓ увеличить поступления средств в бюджет области.

Заключение.

Проведен анализ существующей придорожной инфраструктуры области, выявлены основные недостатки: недостаточный спектр предоставляемых услуг, неравномерность их распределения вдоль трасс, несоответствие санитарным нормам и установленным правилам благоустройства.

Предложено разделение многофункциональных зон придорожного сервиса на три типа, с учетом интенсивности трафика и категории дорог общего пользования. Для каждого типа определен перечень необходимых объектов.

С учетом проведенного анализа предложена схема по размещению МФЗ вдоль дорог общего пользования федерального, регионального и межмуниципального значения в границах территории Волгоградской области

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гайле, А. О.** Оценка инфраструктуры придорожного сервиса для повышения качества услуг и безопасности перевозок / А. О. Гайле, А. В. Иванов // *Технико-технологические проблемы сервиса*. – 2018. – № 1(43) – С. 34-40.

2. **Лесников, А. И.** Современная модель бизнес-экосистемы в условиях придорожной инфраструктуры региона / А. И. Лесников, Т. П. Котова // *Сервис в России и за рубежом*. – 2023. – № 7(109). – С. 202-213.

3. **Фоменко, Ю. В.** К вопросу о перспективах развития придорожного сервиса автомобильного транспорта в РФ / Ю. В. Фоменко, Н. С. Севрюгина, А. А. Ширшов // *Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова*. – 2014. – № 3. – С. 254-256.

4. **Bogdanov, V. N.** Roadside infrastructure as circumstance for territorial sustainable development / V. N. Bogdanov, G. B. Dugarova // *Environmental transformation and sustainable development in the Asian region*. – 2020. – Pp. 26.

5. **Кудревич, А. Ю.** Стратегические аспекты развития автомобильного туризма в регионе / А. Ю. Кудревич // *Стратегирование: теория и практика*. – 2024. – № 3. – С. 389-405.

6. **Атамуратов Ходжагелди.** Пути развития придорожного сервиса страны в современных условиях / Атамуратов Ходжагелди, И. М. Оразкулиев, К. Б. Байрамов // *Вестник науки и образования*. – 2023. – № 5(136)-2. – С. 22-24.

7. **Bogdanov, V. N.** The roadside infrastructure development: a geographical view / V. N. Bogdanov, G. B. Dugarova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 2020 International Online Conference on Environmental Transformation and Sustainable Development in Asian Region*. – 2021. – Vol. 629. – Pp. 012025.

8. **Лазарев, Ю. Г.** Анализ международного опыта развития придорожного сервиса на сети федеральных автомобильных дорог / Ю. Г. Лазарев, К. Э. Зянкина // *ТТПС*. – 2017. – № 2(40). – С.77-81.

9. **Бурхонова, Н. А.** Итальянский опыт развития придорожного сервиса на примере бренда Autogrill / Н. А. Бурхонова // *European Journal of Technical and Natural Sciences*. – 2018. – № 6. – С. 3-8.

10. **Демьянов, С. А.** Проблемы эффективного использования туристического потенциала и инфраструктуры Брестской области / С. А. Демьянов // *Туризм и гостеприимство*. – 2024. – №1. – С. 47-50.

11. **Шелег, Н. С.** Региональные особенности развития сети придорожного сервиса на магистральных автомобильных дорогах Республики Беларусь / Н. С. Шелег, Д. П. Коротыш // *Земля Беларуси*. – 2019. – № 4. – С. 42-47.

Поступила в редакцию 10 декабря 2024

RELEVANCE OF CREATING MULTIFUNCTIONAL ROAD SERVICE ZONES IN VOLGOGRAD REGION

N. V. Korosteleva, D. V. Polonskiy

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

Dmitriy Viktorovich Polonskiy, undergraduate of the Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, tel.: +7(442)23-00-76; e-mail: dima.ic@inbox.ru

The uneven formation and arrangement of transport infrastructure in various regions of the Russian Federation slows down the development of the country's economic space. The transport system of the Volgograd region, due to its favorable geographical position and tourist potential, is an important element of the transport infrastructure of the entire state. As a priority area for improving the condition and increasing the competitiveness of the transport infrastructure of the Russian Federation, in our article we highlight the problems of organizing roadside service. The article considers the prerequisites for the need to improve the condition and increase the competitiveness of the transport infrastructure of the Volgograd region by solving problems in the organization of roadside infrastructure. As an important element to improve the quality of roadside service, we propose to create multifunctional road service zones. Based on the analysis of world experience, we prove the importance of introducing multifunctional road service zones into the transport infrastructure of the region. We also assessed the current state of the roadside infrastructure of the region, identified the main shortcomings and weaknesses and offered recommendations for improving the situation. These proposals will increase the competitiveness of the transport infrastructure of the Volgograd region and contribute to the development of the economic space of the Russian Federation.

Keywords: transport system; roadside infrastructure; roadside service; multifunctional road service areas.

REFERENCES

1. **Gayle A. O., Ivanov A. V.** *Assessment of roadside service infrastructure to improve the quality of services and transportation safety*. Technical and technological problems of the service. 2018. No. 1(43). Pp. 34-40. (in Russian)

2. **Lesnikov A. I., Kotova T. P.** *The modern model of the business ecosystem in the conditions of the roadside infrastructure of the region*. Service in Russia and abroad. 2023. No. 7(109). Pp. 202-213. (in Russian)

3. **Fomenko Yu. V., Sevryugina N. S., Shirshov A. A.** *On the issue of the prospects for the development of roadside road transport services in the Russian Federation*. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2014. No. 3. Pp. 254-256. (in Russian)

4. **Bogdanov V. N., Dugarova G. B.** *Roadside infrastructure as circumstance for territorial sustainable development.* Environmental transformation and sustainable development in the Asian region. 2020. Pp. 26.
5. **Kudrevich A. Yu.** *Strategic aspects of the development of automobile tourism in the region.* Strategizing: theory and practice. 2024. No. 3. Pp. 389-405. (in Russian)
6. **Atamuradov Hodzhageldi, Orazkuliev I. M., Bajramov K. B.** *Ways of developing the country's roadside service in modern conditions.* Bulletin of Science and Education. 2023. No. 5(136)-2. Pp. 22-24. (in Russian)
7. **Bogdanov V. N., Dugarova G. B.** *The roadside infrastructure development: a geographical view.* IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2020 International Online Conference on Environmental Transformation and Sustainable Development in Asian Region. 2021. Vol. 629. Pp. 012025.
8. **Lazarev Yu. G., Zyankina K. E.** *Analysis of international experience in the development of roadside services on the federal highway network.* and technological problems of the service. 2017. No. 2(40). Pp.77-81. (in Russian)
9. **Burhonova N. A.** *The Italian experience of roadside service development using the example of the Autogrill brand.* European Journal of Technical and Natural Sciences. 2018. No. 6. Pp. 3-8. (in Russian)
10. **Dem'yanov S. A.** *Problems of effective use of the tourist potential and infrastructure of the Brest region.* Tourism and hospitality. 2024. No. 1. Pp. 47-50. (in Russian)
11. **Sheleg N. S., Korotysh D. P.** *Regional features of the development of the roadside service network on the main highways of the Republic of Belarus.* The Land of Belarus. 2019. No 4. Pp. 42-47. (in Russian)

Received 10 December 2024

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Коростелева, Н. В. Обоснование создания многофункциональных зон дорожного сервиса на территории Волгоградской области / Н. В. Коростелева, Д. В. Полонский // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 1(32). – С. 89-97. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.010.

FOR CITATION:

Korosteleva N. V., Polonskiy D. V. *Relevance of creating multifunctional road service zones in Volgograd region.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 1(32). Pp. 89-97. DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.010. (in Russian)

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.011

УДК 504.064.47

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВОВ НАКОПЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ОТ ОБЪЕКТОВ ОБЩЕСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Т. Г. Серeda, С. Н. Костарев

Серeda Татьяна Геннадьевна, д-р техн. наук, профессор кафедры строительных технологий, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Российская Федерация, тел.: +7(342)2179322; e-mail: info@pgatu.ru

Костарев Сергей Николаевич, профессор кафедры информатики, Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, Пермь, Россия, Российская Федерация, тел.: +79068783929; e-mail: iums@dom.raid.ru

Для определения нормативов образования твердых коммунальных отходов проведены исследования потоков отходов на примере двух населенных пунктов Пермского края: численностью свыше 500 тыс. и менее 300 тыс. человек. Исследования проводились в период 2020 года. Исследовано 18 категорий объектов общественного назначения. Определены среднегодовые объемные и массовые показатели потоков твердых коммунальных отходов (ТКО). Проведен сравнительный анализ норм накопления отходов по категориям объектов общественного назначения в сравнении с действующими региональными положениями, а также сделано сравнение измеренных потоков ТКО с существующими нормативами. Результаты, полученные в работе, могут быть полезны для проведения общего анализа динамики образования ТКО в условиях пандемии и самоизоляции населения.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы; нормативы накопления отходов; категории объектов общественного назначения.

Целью работы являлось определение норм накопления твердых коммунальных отходов (ТКО) от объектов общественного назначения в населенных пунктах Пермского края численностью свыше 500 тыс. человек и численностью менее 300 тыс. человек. Для исследования выбраны два города – краевая столица г. Пермь и г. Верещагино, подходящие под указанные условия. Результаты расчета нормативов проводились одновременно для г. Пермь и г. Верещагино и усреднялись, согласно технического задания в единый норматив по Пермскому краю.

Исследования проводились посезонно с мая по декабрь 2020 года. Проблема расчета тарифов и нормативов ТКО не снижает свою актуальность в современный период роста благосостояния населения и расширения деятельности объектов общественного назначения. Организованный сбор отходов от многих общественных организаций ранее не был упорядочен. Например, многие дачные и гаражные кооперативы в настоящее время не имеют площадок для сбора ТКО и также обязаны их организовать [1...4]. Исследованию норм накопления твердых коммунальных отходов на урбанизированных территориях и анализу нормативов накопления ТКО также посвящены работы [5, 6]. Методические основы определения нормативов накопления твердых коммунальных отходов описаны в статье [7]. В настоящем исследовании при выборе мест сбора и (или) накопления отходов учитывался ряд параметров:

- ✓ типичность объекта принадлежащего к определенной категории;
- ✓ отсутствие режима ограниченного доступа к отходам;
- ✓ логистическая близость объектов.

Для определения массы ТКО использовались крановые весы модели КВ 3000А(К). Масса отходов рассчитывалась как разница между массой отходов в таре (контейнере, бункере, мешке и т.п.) и массой тары (контейнера, бункера, мешка и т.п.). Объем отходов замерялся по наполнению емкости (контейнера, бункера или мешка), для чего измерялась высота заполнения емкости. При возникновении каких-либо особых обстоятельств, которые могли отразиться на результатах (сильные атмосферные осадки, нарушение сроков вывоза и т.п.) делалась соответствующая пометка в протоколе. Также учитывались метеорологические условия в период проведения замеров накопления отходов, включающие облачность, температуру и влажность воздуха.

В настоящее время для расчета нормативов ТКО действуют «Правила определения нормативов накопления твердых коммунальных отходов», утвержденные Постановлением Правительства РФ от 26 августа 2023 года N 1390 (с изменениями на 24 мая 2024 года) [8], но исследование проводилось ранее 2023 г., в связи с чем обработка результатов экспериментов проведена согласно Постановления Правительства Российской Федерации от 4 апреля 2016 г. (ред. от 15.09.2018) № 269 «Об определении нормативов накопления твердых коммунальных отходов» (с учетом Постановления Правительства РФ от 27 февраля 2017 г. N 232) (с изменениями и дополнениями). С изменениями и дополнениями от: 27 февраля 2017 г., 15 сентября 2018 г. [9].

Среднесуточный норматив за сезон $G_{c.o}$ определялся делением массы отходов на количество расчетных единиц, умноженных на продолжительность замеров (7 суток)

$$G_{c.o} = \frac{G_o}{n \times 7}, \quad (1)$$

где G_o – масса отходов i -го объекта j -й категории, накопленных за период проведения замеров отходов, кг; n – количество расчетных единиц i -го объекта j -й категории.

Среднесуточный норматив за сезон, выраженный в количественных показателях массы на одну расчетную единицу за сутки $G_{c.k}$, для объектов j -й категории определялся по формуле

$$G_{c.k} = \frac{\sum_{i=1}^m G_{c.o}}{m}, \quad (2)$$

где $G_{c.o}$ – среднесуточный норматив за сезон, выраженный в количественных показателях массы на одну расчетную единицу в сутки, для i -го объекта j -й категории, кг/сут.; m – количество объектов j -й категории, на которых производились замеры отходов.

Среднесуточный норматив за сезон, выраженный в количественных показателях объема на одну расчетную единицу в сутки $V_{c.o}$, для i -го объекта j -й категории определялся по формуле:

$$V_{c.o} = \frac{V_o}{n \times 7}, \quad (3)$$

где V_o – объем отходов i -го объекта j -й категории, накопленных за период проведения замеров отходов, куб.м; n – количество расчетных единиц i -го объекта j -й категории; 7 – продолжительность проведения замеров отходов, суток.

Среднесуточный норматив за сезон, выраженный в количественных показателях объема на одну расчетную единицу в сутки $V_{c.k}$, для объемов j -й категории определялся по формуле:

$$V_{c.k} = \frac{\sum_{i=1}^m V_{c.o}}{m}, \quad (4)$$

где $V_{c.o}$ – среднесуточный норматив за сезон, выраженный в количественных показателях объема на одну расчетную единицу в сутки, для i -го объекта j -й категории, куб. м/сут; m – количество объектов j – й категории, на которых проводились замеры отходов.

Среднесезонный суточный норматив, выраженный в количественных показателях массы на одну расчетную единицу в сутки $G_{дельта}$, вычислялся по формуле:

$$G_{\text{дельта}} = \frac{G^3 c.k + G^B c.k + G^L c.k + G^O c.k}{4}, \quad (5)$$

где $Gc.k$ – среднесуточный норматив за сезон, выраженный в количественных показателях массы на одну расчетную единицу в сутки, для объектов j -й категории; з, в, л, о – индексы сезоны года (зима, весна, лето, осень); 4 – количество сезонов.

Аналогично определялся среднесезонный суточный объемный норматив. Нормативы накопления определялись, исходя из особенностей организации и рассчитывались на человека или площадь помещения, а также для обоих вариантов [10].

Годовые и среднемесячные нормативы вычислялись как суммарные показатели относительно количества дней. Среднегодовые показатели накопления ТКО для объектов общественного назначения Пермского края приведены в таблице.

Определение среднегодовых норм накопления ТКО
для объектов общественного назначения Пермского края

№ п/п	Наименование категории объектов	Расчетные единицы	Норматив			
			На расчетную единицу		На 1 м ²	
			V, м ³	m, кг	V, м ³	m, кг
1	Административные здания, учреждения	1 сотрудник/ 1 м ² общей площади	1,44	114,42	0,06	4,42
2	Предприятия торговли	1 м ² общей площади			0,33	26,79
3	Транспортные предприятия	1 м ² общей площади /1 пассажир				
3.1	Железнодорожные и автовокзалы, аэропорты	1 пассажир (исходя изпроекта)	0,14	22,19	–	–
3.2	Авто-заправочные станции	1 заправочное место	19,95	1362,8 8	–	–
3.3	Иные предприятия транспортной инфраструктуры	1 м ² общей площади	–	–	0,05	4,62
4	Дошкольные и учебные заведения	1 учащийся	0,22	21,14	–	–
5	Детские дома, интернаты	1 место	1,15	87,65	–	–
6	Клубы, кинотеатры, концертные залы, театры, цирки	1 кв.метр общей площади	–	–	0,02	1,74
7	Библиотеки, архивы	1 место	9,25	927,70	–	–
8	Выставочные залы, музеи	1 м ² общей площади	–	–	0,03	1,72
9	Зоопарки, ботанические сады, парки	1 м ² общей площади	–	–	0,03	2,67
10.	Пансионаты, дома отдыха, туристические базы	1 место	1,89	178,25	–	–
11	Спортивные учреждения	1 м ² общей площади	–	–	0,01	0,54
12	Предприятия общественного питания	1 место	2,04	171,40	–	–
13	Предприятия службы быта:	1 м ² общей площади / 1 место				
13.1	Гостиницы	1 место	3,78	356,29	–	–
13.2	Общежития	1 место	2,59	232,79	–	–
13.3	Бани, сауны	1 место	0,23	13,02	–	–
13.4	Иные предприятия службы быта	1 м ² общей площади	–	–	0,13	3,20
14	Кладбища	1 м ² общей площади	–	–	0,001	0,13
15	Садоводческие кооперативы, СНТ	1 участник (член)	1,52	117,57	–	–
16	Предприятия иных видов деятельности	1 сотрудник/ 1 м ² общей площади	2,08	135,89	0,08	4,92

Продолжение таблицы

№ п/п	Наименование категории объектов	Расчетные единицы	Норматив			
			На расчетную единицу		На 1 м ²	
			V, м ³	m, кг	V, м ³	m, кг
17	Исправительные учреждения	1 место (исходя из проектной документации)	0,37	71,07	–	–
18	Религиозные учреждения	1 м ² общей площади	–	–	0,09	9,17

Обсуждение результатов исследования.

Исследования выполнены по четырем сезонам, в таблице приведены среднегодовые нормативы. Сравнение нормативов накопления ТКО проводилось с действующими нормативами накопления ТКО, утвержденными Приказом Региональной службы по тарифам Пермского края от 20.07.2018 N СЭД-46-04-02-97 «Об установлении нормативов накопления твердых коммунальных отходов на территории Пермского края» (с изменениями на 13 декабря 2019 г.) (далее – Приказ N СЭД-46-04-02-97).

На основе проведенных исследований сформирован ряд выводов и предложений:

✓ предлагается уменьшение категорий, для которых установлены нормативы: согласно действующему Приказу N СЭД-46-04-02-97 категории разбиты на 10 групп, в пределах которых насчитывается 39 категорий. Рассчитанные авторами нормативы предусматривают установление нормативов ТКО для 19 категорий, без объединения их в группы (для категории «Пляж» нормативы установлены не были, поэтому в таблице отражено 18 категорий);

✓ для категории «Административные здания, учреждения, конторы» введен новый норматив из расчета на одного сотрудника; по этой расчетной единице ранее нормативы не были установлены, поэтому сравнение с действующей редакцией выполнить невозможно. Предварительные нормативы предложено установить единые для всей категории, учитывая возможную погрешность, связанную с пандемией, тогда как действующие нормативы разбиты на 4 подкатегории («Научно-исследовательские, проектные институты и конструкторские бюро», «Банки, финансовые учреждения», «Отделения связи», «Административные, офисные учреждения»). В среднем предлагаемое значение норматива составляет 0,74 по массе и 0,53 по объему по отношению к действующему нормативу;

✓ для категории «Предприятия торговли» также исключена дифференциация по подкатегориям, т.е. исследования захватили пандемийный период, когда протомарные магазины приостанавливали свою работу и в расчетах были задействованы продовольственные магазины. При этом в сравнении со средним значением действующих нормативов предварительный норматив увеличился в 1,27 раз по массе и составил 0,93 по объему.

✓ предприятия транспортной инфраструктуры сохранили подкатегории «Автозаправочные станции» (норматив увеличился в 4,28 раза по массе и в 3,96 раз по объему), «Железнодорожные и автовокзалы, аэропорты, речные порты» (норматив составил 0,77 по массе и 0,47 по объему от действующих нормативов). Все остальные подкатегории («Автомастерские, шиномонтажная мастерская, станция технического обслуживания», «Автостоянки и парковки», «Гаражи, парковки закрытого типа», «Автомойка») объединены в категорию «Иные предприятия транспортной инфраструктуры». При этом сравнение действующих нормативов с предлагаемыми выполнить невозможно, т.к. не совпадает расчетная единица, в отношении которой устанавливается норматив: ранее такой норматив устанавливался относительно 1 машино-места, предварительные нормативы устанавливаются исходя из общей площади объекта;

✓ дошкольные и учебные заведения («Дошкольное образовательное учреждение», «Общеобразовательное учреждение», «Учреждение начального и среднего профессио-

нального образования, высшего профессионального и послевузовского образования или иное учреждение, осуществляющее образовательный процесс» также объединены в одну категорию, потому что образовательные учреждения вышли на дистант в период пандемии и фактически работники работали дистанционно. При этом новые значения составляют 0,41 по массе и 0,41 по объему от среднего значения действующих нормативов по категории, что, вероятно, связано с ограничением на нахождением обучающихся в дошкольных и учебных заведениях в период самоизоляции в связи с SARS-CoV-2;

✓ детские дома, интернаты выделены в отдельную категорию как место постоянного проживания. Здесь так же наблюдается снижение значения норматива: 0,31 по массе и 0,41 по объему по сравнению с действующими нормативами;

✓ по категориям: «Клубы, кинотеатры, концертные залы, театры, цирки», «Библиотеки, архивы» сравнение выполнить невозможно, т.к. не совпадает расчетная единица, в отношении которой устанавливается норматив: по «Клубам...» вместо норматива на 1 место предлагается установить норматив на 1 кв. метр общей площади, по «Библиотекам...» наоборот: вместо норматива на 1 кв. метр общей площади предлагается установить норматив на 1 место;

✓ для категории «Выставочные залы, музеи» норматив накопления ТКО увеличился в 1,79 раз по массе, в 1,25 раз по объему. Вероятно, это связано с увеличением количества проводимых генеральных уборок в учреждениях данной категории в период самоизоляции, когда количество посещений значительно снижалось, но ТКО образовывались в результате вышеуказанных работ;

✓ в отношении зоопарков, ботанических садов, парков наблюдается уменьшение норматива: он составляет 0,25 по массе и 0,33 по объему от действующего норматива;

✓ спортивные арены, стадионы, клубы, центры, комплексы, для которых норматив был установлен из расчета на 1 место, объединены в одну категорию «Спортивные учреждения», при этом изменилась расчетная единица (1 кв. метр общей площади), вследствие чего сравнение действующих и предлагаемых нормативов выполнить невозможно;

✓ норматив накопления ТКО для предприятий общественного питания увеличился в 1,19 раз по массе и уменьшился в 0,80 раз по объему от действующих значений.

✓ для предприятий службы быта часть категорий осталась неизменной («Гостиницы», «Общежития», «Бани, сауны»), остальные категории («Мастерские по ремонту бытовой и компьютерной техники, мастерские по ремонту обуви, ключей, часов и пр.», «Ремонт и пошив одежды», «Химчистки и прачечные», «Парикмахерские, косметические салоны, салоны красоты») учтены как «Иные предприятия службы быта», потому что часть исследований проходила в пандемию, при котором парикмахерские, косметические салоны, салоны красоты и т.п. приостанавливали свою работу, и возможно не было особой необходимости в связи с особой ситуацией рассчитывать для них отдельные нормативы.

При этом для гостиниц норматив увеличился в 4,22 раза по массе и в 2,04 раз по объему, для общежитий – увеличился в 4,24 раз по массе и в 4,88 раз по объему. Для бань и саун норматив уменьшился и составил 0,16 от действующего норматива по массе и 0,09 по объему. Также уменьшение норматива наблюдалось и для иных предприятий службы быта: норматив составил 0,69 по массе и 0,89 по объему в сравнении со средним значением действующих нормативов соответствующей категории. Такое снижение связано с ограничениями по функционированию вплоть до закрытия в весенний и летний периоды 2020 года в связи с предупредительными мерами по нераспространению заболевания, связанного с вирусом SARS-CoV-2.

Для кладбищ сравнение нормативов не производится, т.к. не совпадает расчетная единица, в отношении которой устанавливается норматив: вместо норматива на 1 место предложен норматив на 1 кв. метр общей площади.

Для категории «Садоводческие кооперативы, садово-огородные товарищества» увеличение норматива произошло в 1,60 раз по массе и в 2,45 раз по объему. По всей видимо-

сти, это связано с массовым выездом населения всех возрастных категорий на садовые участки в период самоизоляции в связи с SARS-CoV-2 (COVID -2019).

Расширен перечень расчетных единиц для предприятий иных видов деятельности: к нормативу на 1 кв. метр общей площади добавлен норматив из расчета на 1 сотрудника. По нормативу на 1 сотрудника сравнение не производится, так как ранее такой норматив отсутствовал. Норматив на 1 кв. метр общей площади составил 0,61 по массе и 0,41 по объему от действующего аналогичного норматива. Снижение норматива также можно объяснить ограничением на нахождение людей на рабочих местах в период самоизоляции в связи с SARS-CoV-2.

Для категорий «Пляж», «Исправительные учреждения (исправительные колонии, тюрьмы)», «Религиозные учреждения (церкви, храмы, мечети, синагоги, монастыри)» сравнение нормативов невозможно, т.к. эти категории введены впервые.

Заключение.

На основании выполненных исследований определены среднегодовые нормы накопления ТКО за 2020 г. по 18 категориям объектов общественного назначения в населенных пунктах Пермского края, включающим 58 объектов общественного назначения.

Исследования захватили период пандемии, вызванной новой коронавирусной инфекцией, в условиях самоизоляции населения, с обоснованным уменьшением категорий объектов. Для многих категорий, таких как, например, «Пляж» нормативы не устанавливались, в связи с их закрытием на период пандемии.

Выявлены тенденции к увеличению норматива образования ТКО: у предприятий торговли (в основном продовольственных магазинов) в 1,27 раза по массе. По предприятиям транспортной инфраструктуры в связи с самоизоляцией населения и уменьшением поездок по категории «Железнодорожные и автовокзалы, аэропорты» норматив ТКО снизился до 0,77 по массе и 0,47 по объему к действующему.

Во многих категориях была произведена замена норматива ТКО на 1 место и наоборот на 1м² согласно выданному техническому заданию на исследования. Так как в период пандемии предприятия общественного питания работали по доставкам населению, норматив ТКО увеличился в 1,19 раз по массе и уменьшился в 0,80 раз по объему (значительно увеличилась плотность отходов).

По многим категориям объектов общественного назначения Пермского края норматив был существенно уменьшен: так для категорий «Бани, сауны» норматив ТКО составил лишь 0,16 от действующего норматива по массе, что связано с ограничением их работы, вплоть до закрытия в весенний и летний периоды 2020 года.

Самое большое увеличение норматива ТКО в 1,6 раз по массе пришлось на категорию «Садоводческие кооперативы, СНТ», что связано с массовым выездом населения на дачи. Впервые расширен перечень исследований с включением категории «Религиозные учреждения».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Адцеев, Р. О.** Проблема расчета тарифов и нормативов ТКО / Р. О. Адцеев, А. М. Кумаритов // Современные тенденции развития информационных технологий в научных исследованиях и прикладных областях: сборник докладов IV Международной научно-практической конференции, Владикавказ, 27...28 апреля 2023 года. – Владикавказ: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет). – 2023. – С. 9-12.

2. **Думнов, А. Д.** Статистика твердых коммунальных отходов: тенденции, проблемы, задачи / А. Д. Думнов, Н. В. Пирожкова, А. Е. Харитоновна // Вопросы статистики. – 2016. – № 6. – С. 28-51.

3. Анализ нормирования объемов накопления твердых коммунальных отходов в Российской Федерации / В. Б. Коновалов, М. Ю. Зенкевич, В. Е. Прокофьев, К. В. Янович // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2019. – № 3(4). – С. 170-182.
4. **Звездина, Т. М.** Обращение с твердыми коммунальными отходами: теоретические и практические аспекты реализации норм права при оказании коммунальной услуги в нежилых помещениях многоквартирного дома / Т. М. Звездина // Управление техносферой. – 2022. – Т. 5. – № 2. – С. 137-149. – DOI 10.34828/UdSU.2022.63.93.002.
5. Исследование норм накопления твердых коммунальных отходов урбанизированных территорий / В. Н. Азаров, А. В. Азаров, Н. В. Мензелинцева, И. М. Статюха // Социология города. – 2020. – № 1. – С. 48-57.
6. **Кривошеева М. М.** Анализ нормативов накопления ТКО / М. М. Кривошеева // Управление техносферой. – 2021. – Т. 4. – № 2. – С. 176-191.
7. **Ощепкова, Т. С.** Методические основы определения нормативов накопления твердых коммунальных отходов / Т. С. Ощепкова // Проблемы антропогенной трансформация природной среды: Материалы международной конференции памяти Н. Ф. Реймерса и Ф. Р. Штильмарка, Пермь, 14...15 ноября 2019 года / Под редакцией С.А. Бузмакова. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2019. – С. 278-279.
8. **Третьяков, В. М.** Определение нормативов накопления ТКО: плюсы и минусы новых Правил / В. М. Третьяков // Твердые бытовые отходы. – 2023. – № 11(209). – С. 26-31.
9. **Лопин, И. Л.** Утверждены правила определения нормативов накопления ТКО / **И. Л. Лопин** // Твердые бытовые отходы. – 2016. – № 5 – (117). – С. 58.
10. **Хмельников, Б. В.** Кто же мусорит человек или метры? / Б. В. Хмельников // Твердые бытовые отходы. – 2022. – № 5(191). – С. 44-47.

Поступила в редакцию 3 февраля 2025

DETERMINATION OF STANDARDS FOR THE ACCUMULATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE FROM PUBLIC FACILITIES ON THE EXAMPLE OF THE PERM REGION

T. G. Sereda, S. N. Kostarev

Tatiana Gennadievna Sereda, Dr. Sc. (Tech.), Professor of Building Technology Department, Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov, Perm, Russia, tel.: +7(342)2179322; e-mail: info@pgatu.ru

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

We conducted a series of studies of waste streams to determine the standards for the formation of municipal solid waste. We used the example of two settlements: over 500 thousand and less than 300 thousand people in the Perm Region back in 2020. We studied 18 categories of public facilities. We determined the average annual volume and mass indicators of municipal solid waste (MSW) flows. We also carried out a comparative analysis of the calculation units by categories of public facilities in comparison with the current regional regulations; we as well compared measured MSW flows with existing standards. The results obtained in the work can be useful for conducting a general analysis of the dynamics of MSW formation in the context of a pandemic and self-isolation of the population.

Keywords: municipal solid waste; waste accumulation standards; categories of public facilities.

REFERENCES

1. **Adtseev R. O., Kumaritov A. M.** *Problem of calculation of tariffs and standards of MSW* Modern trends in the development of information technologies in scientific research and applied areas: collection of reports of the IV International Scientific and Practical Conference, Vladikavkaz, 27-28 April 2023. Vladikavkaz, North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University). 2023. Pp. 9-12. (in Russian)
2. **Dumnov Aleksandr D., Pyrozhkova Nadejda V., Kharitonova Anna E.** *Municipal solid waste statistics: trends, problems, objects*. Statistical issues. 2016. No. 6. Pp. 28-51. (in Russian)
3. **Konovalov V. B., Zenkevich M. Y., Prokofev V. E., Yanovich K. V.** *Analysis of the normalization of the volumes of accumulation of solid municipal waste in the Russian Federation*. Actual problems of military scientific research. 2019. No. 3(4). pp. 170-182. (in Russian)
4. **Zvezdina T. M.** *Municipal solid waste management: theoretical and practical aspects of implementing the rules of law in the provision of municipal services in non-residential premises of apartment buildings*. Upravlenie tekhnosferoi. 2022. Vol. 5. Issue 2. Available at. Pp. 137–149. DOI: 10.34828/UdSU.2022.63.93.002. (in Russian)
5. **Azarov V. N., Azarov A. V., Menzelintseva N. V., Statyukha I. M.** *Study of accumulation norms of solid municipal waste of urbanised territories*. Sociology of the city. 2020. No. 1. Pp. 48-57. (in Russian)
6. **Krivosheeva M. M.** *Analysis of the norms of MSW accumulation*. Technosphere Management. 2021. T. 4. No. 2. Pp. 176-191. (in Russian)
7. **Oschepkova T. S.** *Methodological foundations for determining the standards of accumulation of municipal solid waste*. Problems of anthropogenic transformation of the natural environment: Proceedings of the international conference in memory of N. F. Reimers and F. R. Shtilmark. Perm. November 14-15, 2019. Edited by S. A. Buzmakov. Perm, Perm State National Research University. 2019. Pp. 278-279. (in Russian)
8. **Tretyakov V. M.** *Definition of MSW accumulation standards: pros and cons of new Rules*. Solid household waste. 2023. No. 11(209). Pp. 26-31. (in Russian)
9. **Lopin I. L.** *The rules for determining the norms of accumulation of solid domestic waste are approved* Solid domestic wastes. 2016. No. 5(117). Pp. 58. (in Russian)
10. **Khmelnikov B. V.** *Who litter man or metres?* Solid domestic wastes. 2022. No. 5(191). Pp. 44-47. (in Russian)

Received 3 February 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Середа, Т. Г. Определение нормативов накопления твердых коммунальных отходов от объектов общественного назначения на примере Пермского края / Т. Г. Середа, С. Н. Костарев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 1(32). – С. 98-105. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.011.

FOR CITATION:

Sereda T. G., Kostarev S. N. *Determination of standards for the accumulation of municipal solid waste from public facilities on the example of the Perm region*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 1(32). Pp. 98-105. DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.011. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.012

УДК 534.6:504.75.05

МОНИТОРИНГ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАЖДАНСКИХ БПЛА

Д. А. Соколов, Е. И. Головина, Т. В. Ашихмина

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

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

Ашихмина Татьяна Валентиновна, канд. геогр. наук, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: tv6234@yandex.ru

В последние годы использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) стало популярным средством наблюдения за территориями. В работе исследуется возможность использования БПЛА для мониторинга шума на железнодорожном транспорте. Для достижения поставленной цели рассмотрена схема такого аппарата, разработан его маршрут для мониторинга определенной зоны. Предложен метод по проведению акустического мониторинга с помощью БПЛА, который позволяет проводить точные измерения с высоты полета. Приведено описание методики проведения замеров, результаты которых представляют точную звуковую картину по загрязнению от движущегося транспортного потока по изучаемой территории. Сформирован вывод о целесообразности использования БПЛА для мониторинга шума и построения акустических карт при воздействии транспорта.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат; мониторинг шума; акустическая карта; звуковое загрязнение.

Современные системы мониторинга на железнодорожном транспорте развиваются и функционируют в условиях повышенной загруженности и интенсивности движения. В связи с этим особое внимание уделяется мониторингу шума и вибрации, так как эти факторы оказывают негативное влияние не только на окружающую среду и селитебную территорию, но и на здоровье людей, которые находятся в составе во время движения [1, 2].

Целью наблюдения с помощью беспилотных летательных аппаратов является выполнение обширного мониторинга системы железнодорожной инфраструктуры в тех местах, где необходим наиболее частый контроль (селитебная территория).

Уровень звукового давления (УЗД) представляет собой разницу в локальном атмосферном давлении окружающей среды, вызванную звуковой волной. Имея в качестве единицы измерения Паскаль (Па), УЗД можно измерить на открытом воздухе с помощью микрофона. Обычно чувствительность микрофона оценивается с помощью синусоидальной волны в 94 дБ (эквивалентно 1 паскалю давления воздуха) на частоте 1 кГц. Чувствительность микрофона измеряется как его реакция на сигнал 94 дБ. Такой микрофон учитывает максимальное значение звукового давления, при котором микрофон может работать правильно, прежде чем производить слышимые уровни искажений. Близко проезжающий дорожный транспорт обычно производит шум в диапазоне от 60 до 100 дБ¹. Значение 0 дБ соответствует самому низкому порогу человеческого слуха. В нормальных условиях уровни давления могут достигать довольно большого диапазона, варьируясь от

¹СП 276.1325800.2016 Здания и территории. Правила проектирования защиты транспортных потоков.

0,00002 до 200 паскалей. Однако датчики и устройства, такие как микрофоны, не имеют такой же зависимости от УЗД, как органы слуха. В диапазоне частот 20...20 кГц нормальный человек воспринимает более низкие частоты с меньшей чувствительностью, а человеческий слух, как правило, имеет логарифмическую природу, поэтому децибелы как единица измерения во многом совпадают с человеческим восприятием и опытом. Обычно нормальные люди воспринимают звуки с максимальной точностью в диапазоне 250...5000 Гц.

На железных дорогах дроны подходят и используются для многих видов мониторинга и контроля. Структурный мониторинг гражданскими БПЛА, особенно для критически важных объектов, позволяет удобно обслуживать труднодоступные узлы, такие как мосты и тоннели [3]. Также активно проводится мониторинг экологической безопасности, включая мониторинг пожарной безопасности. Активно разрабатывается методика мониторинга физической безопасности, то есть обнаружение и передача данных о поломках, изменениях положения объектов, нарушении безопасности.

Сбор данных УЗД с определенной частотой крайне важен: это обеспечивает контроль за состоянием окружающей среды, позволяет разработать шумозащитные мероприятия для снижения загрязнения, создаваемого железнодорожным транспортом [4] Картографирование уровней и характеристик звука также может быть полезным для развития систем оптимизации городской обстановки, помогая разработать систему контроля транспортного потока, защитить чувствительные экологические зоны, такие как больницы, жилые здания. Более емкий мониторинг помогает принимать наиболее подходящие меры для обеспечения здорового уровня окружающего шума в городских районах, чтобы обеспечить комфортную среду для жизни.

Сбор данных о шуме, создаваемом транспортом, требует проведения значительного числа измерений или создания общей системы датчиков, которая бы могла непрерывно собирать данные о шуме. Такие мероприятия являются экономически затратными.

В проведенных авторами исследованиях место для первоначальных измерений было выбрано с учетом того, что соответствующая территория известна как очень оживленная и с высоким уровнем шума, создаваемого железнодорожным транспортом.

В работе [5] проводились замеры фактических уровней шумового загрязнения, частотного диапазона при помощи шумомера, в течение нескольких часов в пяти разных точках, на площади 0,09 км², что позволило более объективно прийти к результатам².

Современные технические и технологические возможности позволяют значительно сократить трудовые и финансовые затраты на проведение акустического и вибрационного мониторинга и делать периодические измерения акустических параметров в разных местах с помощью беспилотного летательного аппарата, оснащенного определенной конфигурацией микрофонов. Предлагаемый метод позволяет создавать информативную звуковую картину и общую информацию о звуковом загрязнении от движущегося транспортного потока.

Оценка шума трафика с помощью дрона происходит при помощи направленной микрофонной решетки. Для снижения фонового шума, и особенно шума, создаваемого вращением пропеллера, используется адаптивный фильтр шумоподавления, разработанный на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС). Два микрофона направлены вверх, собирая шум от роторов БПЛА, чтобы снизить его влияние. Адаптивная фильтрация выполняется с помощью оптимизированного алгоритма наименьших квадратов [6]. Общая архитектура системы представлена на рис. 1. Важными элементами являются модули вычитания шума двигателей самого БПЛА.

Учитывая площадной характер объектов, плотность транспортного потока, расположение железнодорожных путей, есть необходимость периодического и регламентирован-

²ГОСТ 23337-2014 Шум. Методы измерения шума на территориях жилой застройки и в помещениях жилых и общественных зданий.

ного проведения наблюдений [7] и картографирования шумового загрязнения в селитебной зоне. Такой подход является базовым для разработки обоснованных решений по снижению акустического воздействия и управлению качеством окружающей среды [8].

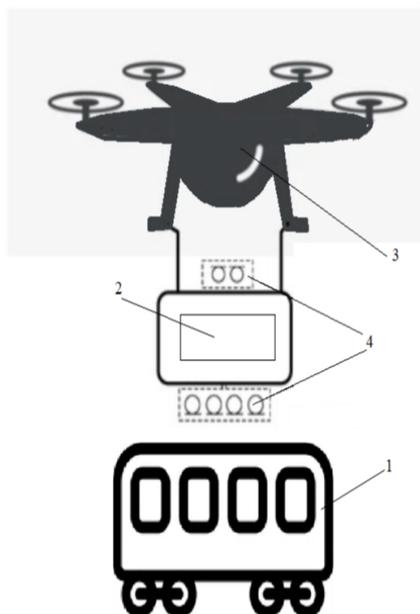


Рис. 1 Схема применения БПЛА для мониторинга шума:
1 – источник шума; 2 – система микрофонов; 3 – Беспилотный летательный аппарат;
4 – адаптивный фильтр шумоподавления

Процесс планирования маршрута мониторинга может включать (рис. 2): планирование полета – определяется маршрут полета БПЛА с учетом характеристик местности и ожидаемых источников шума. В данном случае, изучаемая область разбита на пять зон³.

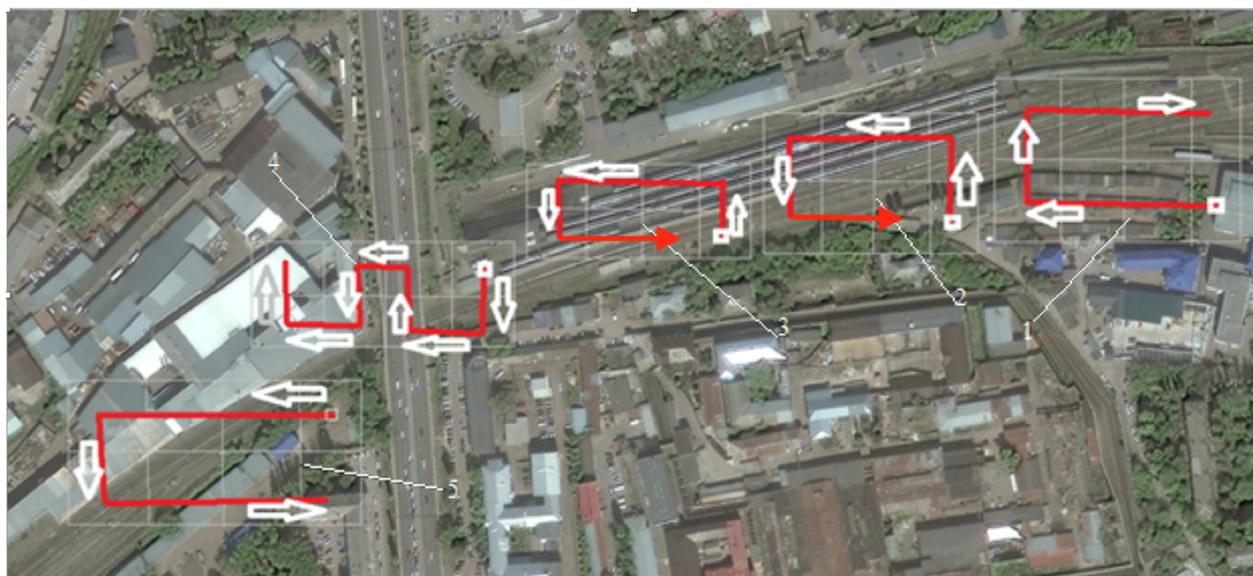


Рис.2 Схемы маршрутов БПЛА:
1 – первая зона; 2 – вторая зона; 3 – третья зона; 4 – четвертая зона; 5 – пятая зона

Разделение на зоны обусловлено техническими возможностями беспилотника и способствует более подробному анализу шумовой обстановки в каждой области выбранной

³ГОСТ 23337-2014 Шум. Методы измерения шума на территориях жилой застройки и в помещениях жилых и общественных зданий.

зоны. Измерение УЗД проходит на протяжении всего полета в каждой зоне, оптимальная высота полета может составлять 35...50 м.

Далее происходит сбор данных – беспилотник поднимается в воздух и начинает записывать уровень шума в течение всего маршрута, опционально привязывая данные к GPS-координатам. Полученные данные обрабатываются методом анализа и интерполяции с использованием программного обеспечения для построения шумовых карт, где визуализируется распределение уровня шума по изучаемой территории. В настоящее время для создания акустических карт могут быть использованы алгоритмы машинного обучения и геостатистические методы [9]. С применением БПЛА в мониторинге шума можно получать более емкую и полную информацию об акустической обстановке, включая труднодоступные участки.

Использование акустического БПЛА-мониторинга представляет собой инновационный подход, который сочетает в себе оперативность, экономическую эффективность и достаточно высокую точность замеров [10].

Основными направлениями дальнейшей разработки предложенной темы являются:

- ✓ интеграция акустического БПЛА-мониторинга в системы экологического мониторинга;
- ✓ разработка комбинированных методов мониторинга, где БПЛА могут работать в связке с другими технологиями для получения наиболее полных и точных данных о шумовом загрязнении;
- ✓ разработка методов идентификации и дифференциации акустического воздействия от отдельных источников шума, в том числе от железнодорожного транспорта и автомобильного.

Заключение.

Проведен анализ возможности использования БПЛА для мониторинга шума и построения акустических карт на селитебных территориях, прилегающих к железнодорожной инфраструктуре.

Показана целесообразность картографирования акустического загрязнения для визуализации распределения уровня шума по изучаемой территории. Представлена предполагаемая схема использования БПЛА для мониторинга шумовой обстановки.

Предложен вариант планирования маршрута шумового мониторинга на объекте железнодорожного транспорта и прилегающей селитебной местности, предполагающий зонирование территории с учетом ее характеристик и потенциальных источников шума.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

2. **Соколов, Д. А.** Перспективы развития методов минимизации виброакустических факторов от железнодорожного транспорта на окружающую среду / Д. А. Соколов, Е. И. Головина // Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения: Сборник научных трудов V Всероссийской научно-практической конференции в рамках V Всероссийского научно-общественного форума «Экологический форсайт», Саратов, 19...21 октября 2023 года. – Саратов: ООО «Амирит», 2023. – С. 245-248.

3. **Гура, Д. А.** Мониторинг сложных объектов инфраструктуры / Д. А. Гура, Ю. В. Дубенко, П. Ю. Бучацкий, И. Г. Марковский, Н. И. Хушт // Вестник Адыгейского государ-

ственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2019. – № 4(251).

4. **Лапа, М. В.** Анализ состояния измерений, испытаний и контроля окружающей среды на производстве и в научных исследованиях / М. В. Лапа, С. Е. Кравцова, В. А. Сафонов // Системы контроля окружающей среды. – 2022. – № 1(47). – С. 105-111. – DOI 10.33075/2220-5861-2022-1-105-111.

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

6. **Малахов, О. И.** МНК и РНК алгоритмы адаптивной фильтрации / О. И. Малахов, М. М. Трегубенко // Научный вестник МГТУ ГА. – 2006. – №98.

7. Методология мониторинга объектов размещения отходов и прилегающих территорий с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) (на примере Воронежской области) // Т. В. Ашихмина, Т. А. Девятова, А. А. Пирогов, Д. А. Адамян // Астраханский вестник экологического образования. – 2024. – № 5(83). – С. 13-21. – DOI 10.36698/2304-5957-2024-5-13-21.

8. **Кошурников, Д. Н.** Обзор зарубежной и отечественной практики шумового картирования (Noise Mapping) в условиях плотной городской застройки / Д. Н. Кошурников, Е. В. Максимова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 3(31). – С. 27-43.

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

10. **Варламов, А. С.** Обобщенный анализ существующих тенденций и достижений в области перспектив развития систем и средств беспилотных летательных аппаратов / А. С. Варламов, А. В. Седых, Д. С. Бачурин // Молодой ученый. – 2023. – № 47 (494). – С. 27-31.

Поступила в редакцию 10 февраля 2025

MONITORING OF ACOUSTIC EFFECTS FROM TRANSPORT USING CIVILIAN UAVs

D. A. Sokolov, E. I. Golovina, T. V. Ashikhmina

Dmitry Alekseevich Sokolov, Master's Student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(928)305-30-77; e-mail: dmitriysokolov598@gmail.com

Elena Ivanovna Golovina, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor of the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: egolovina@cchgeu.ru

Tatiana Valentinovna Ashikhmina, Cand. Sc. (Geography), Associate Professor of the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: tv6234@yandex.ru

In recent years, the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) has become a popular means of observing territories. The paper explores the possibility of using UAVs to monitor noise and vibration in railway transport. To achieve this goal, we considered the scheme of such a device, and developed its route for monitoring a certain area. We as well proposed a method for conducting acoustic and vibration monitoring using UAVs, which allows for accurate measurements from a flight altitude. Also, we give a description of the measurement methodology, the results of which present an accurate sound picture of pollution from moving traffic in the studied area. We concluded that there is a need to use UAVs to monitor noise and build acoustic maps when it comes to transport use.

Keywords: unmanned aerial vehicle; noise monitoring; acoustic map; sound pollution.

REFERENCES

1. **Golovina E. I., Sokolov D. A.** *Ensuring labor safety during the operation of railway transport by modernizing systems of vibration damping pads and rail plates.* Safety of man-made and natural systems. 2023. No. 1. Pp. 39-46. DOI 10.23947/2541-9129-2023-1-39-46. (in Russian)
2. **Sokolov D. A., Golovina E. I.** *Prospects for the development of methods for minimizing vibroacoustic factors from railway transport to the environment.* Environmental monitoring of hazardous industrial facilities: modern achievements, prospects and ensuring environmental safety of the population : Collection of scientific papers of the V All-Russian Scientific and Practical Conference within the framework of the V All-Russian Scientific and Public Forum "Ecological Foresight", Saratov, October 19-21, 2023. Saratov, Amirit LLC, 2023. Pp. 245-248. (in Russian)
3. **Gura D.A., Dubenko Y. V., Buchatsky P. Y., Markovsky I. G., Khusht N. I.** *Monitoring of complex infrastructure facilities.* Bulletin of the Adygea State University. Series 4: Natural, mathematical and technical sciences. 2019. No. 4 (251). (in Russian)
4. **Lapa M. V., Kravtsova S. E., Safonov V. A.** *Analysis of the state of measurements, tests and environmental control in production and in scientific research.* Environmental control systems. 2022. No. 1(47). Pp. 105-111. DOI 10.33075/2220-5861-2022-1-105-111. (in Russian)
5. **Sokolov D. A., Golovina E. I.** *Visual representation of the impact of the vibroacoustic factor from railway transport on the residential area.* Housing and communal infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 118-125. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.012. (in Russian)
6. **Malakhov O. I., Tregubenko M. M.** *MNC and RNA adaptive filtration algorithms.* Scientific Bulletin of MSTU GA. 2006. No. 98. (in Russian)
7. **Ashikhmina T. V., Devyatova T. A., Pirogov A. A., Adamyan D. A.** *Methodology of monitoring waste disposal facilities and adjacent territories using unmanned aerial vehicles (UAVs) (on the example of the Voronezh region).* Astrakhan Bulletin of Environmental Education. 2024. No. 5(83). Pp. 13-21. DOI 10.36698/2304-5957-2024-5-13-21. (in Russian)
8. **Sokolov D. A., Golovina E. I.** *Visual representation of the impact of the vibroacoustic factor from railway transport on the residential area.* Housing and communal infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 118-125. DOI 10.36622/2541-9110.2024.28.1.012. (in Russian)
9. **Koshurnikov D. N., Maksimova E. V.** *Review of foreign and domestic practice of noise mapping in conditions of dense urban development.* Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urbanistics. 2018. No. № 3(31). Pp. 27-43. (in Russian)
10. **Varlamov A. S., Sedykh A.V., Bachurin D. S.** *Generalized analysis of existing trends and achievements in the field of prospects for the development of systems and facilities of unmanned aerial vehicles.* Young scientist. 2023. No. 47(494). Pp. 27-31(in Russian)

Received 10 February 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Соколов, Д. А. Мониторинг акустического воздействия от транспорта с использованием гражданских БПЛА / Д. А. Соколов, Е. И. Головина, Т. В. Ашихмина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 1(32). – С. 106-111. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.012.

FOR CITATION:

Sokolov D. A., Golovina E. I., Ashikhmina T. V. *Monitoring of acoustic effects from transport using civilian UAVs.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 1(32). Pp. 106-111. DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.012. (in Russian)

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА **ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION**

DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.013

УДК 658.51

КОНЦЕПЦИЯ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА И УПРАВЛЕНИЯ, АНАЛИЗ ПРИМЕРОВ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ

С. В. Артыщенко, А. И. Колосов, И. В. Беленко, К. Э. Фелелова

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

Колосов Александр Иванович, канд. тех. наук доцент, проректор по учебной работе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: akolosov@cchgeu.ru

Беленко Инна Валерьевна, студент кафедры управления, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)276-40-07; e-mail: inna.belenko340@gmail.com

Фелелова Кристина Эльбрусевна, студент кафедры управления, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)276-40-07; e-mail: khachirova.2020@mail.ru

Современные методы принятия решений, управления и производства становятся все более актуальными в условиях жесткой конкурентной среды. Показаны тенденции мирового рынка, обусловленные ростом требования потребителей, и побуждающие компании адаптироваться и внедрять инновационные подходы к управлению и производству. Проведен анализ концепций бережливого производства и управления, наряду с инновационными подходами, акцентирующими внимание на оптимизации процессов и повышении эффективности. Рассмотрены основные принципы бережливого производства, его связь с производственной системой «Тойоты» (*TPS*), а также другие современные методики, помогающие компаниям принимать наиболее обоснованные и эффективные управленческие решения. Материалы могут быть полезны исследователям, интересующимся современными методологиями в производстве и управлении, а также внедрением концепций бережливого производства в различных отраслях.

Ключевые слова: бережливое производство; управление производством; производственная система.

Задачи, связанные с управлением и принятием решений, относятся к области, актуальность исследований в которой не только не снижается, но и возрастает с каждым годом. Это обусловлено проникновением во все сферы экономики и общественной жизни в целом, а также важными конкурентными преимуществами, которые дает лидерство в этой области. Подходы, реализуемые в работах, выполненных в этом направлении весьма разнообразны, это и применение риск-менеджмента в задачах управления [1] и применение методик креативности в задачах управления, см [2]. Конкурентные преимущества, появляющиеся у организаций, уделяющих должное внимание грамотному и последовательному решению вышеупомянутых задач, способствуют повышению инновационного потенциала предприятия – важнейшей характеристики присущей предприятию в условиях современной экономики, что в свою очередь вносит дополнительный вклад в актуальность задач управления и принятия решений.

Концепция бережливого производства, которая начала формироваться в Японии, после Второй мировой войны не утрачивает актуальности по настоящее время. Это под-

тверждается значительным количеством современных научных, учебных и методических публикаций в этом направлении [3...5]. Основателем концепции считается Тайити Оно, начавший работу в компании *Toyota Motor Corporation* в 1943 г. В середине 1950-х гг., изучив и применив опыт передовых мировых промышленных стран, он начал выстраивать систему организации производства, получившую название «Производственная система Toyota».

В работе [2] «Основные принципы бережливого производства», автор выделяет элементы бережливого производства оперируя следующими терминами:

- ✓ JIT (производство точно в срок),
- ✓ TQM (всеобщее управление качеством),
- ✓ *Toyota Production System (TPS)*,
- ✓ CFM (поток непрерывного производства).

Производственная система Toyota (TPS) – это методология управления производственными процессами, основанная на принципах бережливого производства и фокусирующаяся на максимизации эффективности и минимизации потерь.

Как отмечает автор работы [1], в западных странах концепция TPS развита как *Lean production*, отечественные специалисты в области организации производства придерживаются термина Лин-технологии – «производства без излишеств». Компания определяет, какую ценность имеет продукт для конечного потребителя на каждом этапе производственного процесса. Потери непрерывно устраняются.

Тайити Оно для достижения заданного уровня снижения затрат, выделил семь видов потерь, относящихся к категории «*muda*»: перепроизводство; простой работников; транспортные потери; потери из-за избыточной обработки; излишние запасы; лишние движения; потери от бракованных продуктов.

В настоящее время выделяют еще один вид потерь, связанных с нежеланием сотрудников активно брать на себя ответственность за выявление и устранение других потерь. Согласно исследованию [5] Мохаммеда Солимана, потери разделяются на два рода:

- ✓ потери, не приносящие прямой ценности, но в то же время являющиеся необходимыми для функционирования системы.
- ✓ потери, не создающие ценности и снижающие общую эффективность, но идентификация и устранение этих потерь — важная задача для организации.

Также рассматриваются такие категории потерь эффективности, такие как: «*Muri*» и «*Mura*» [3].

«*Muri*» представляет собой «напряженность работы». Эффективное управление этой напряженностью включает в себя оптимизацию рабочих процессов, возможность временной замены сотрудников с целью предотвращения усталости и обеспечение надежной работы.

«*Mura*», в свою очередь, обозначает «неравномерность работы» и появляется, когда нарушается установленный ритм работы, поступление комплектующих или график производства [5].

Устранение одного вида потерь может способствовать уменьшению других, что подчеркивает важность комплексного подхода к повышению эффективности производственных процессов.

В соответствии с работой [3], выделим ключевые принципы бережливого производства:

- ✓ определение ценности с точки зрения клиента;
- ✓ идентификация потока создания ценности: от разработки продукта до его поставки клиенту. Это позволяет визуализировать, какие шаги добавляют ценность, а какие являются потерями.
- ✓ создание потока, осуществление всех процессов и операций без разрывов и задержек.

✓ установка «вынимания» (*pull*). Продукция должна производиться только по мере необходимости, а не на запас. Это позволяет избежать избыточного производства и снижает запасы.

✓ *TPS* включает в себя философию постоянного совершенствования, где каждый день ищутся возможности для оптимизации всех бизнес-процессов.

✓ минимизация потерь.

✓ вовлечение сотрудников, обучение и развитие являются ключевыми аспектами бережливого производства.

✓ оптимизация и стандартизация операций для повышения качества и эффективности.

Соблюдение этих принципов позволяет компаниям повысить конкурентоспособность, снизить затраты, улучшить качество, создавая ценность для клиентов.

Джеффри Лайкер, ведущий специалист в сфере управления и бережливого производства, в работе [6] предлагает оригинальный анализ того, как Toyota смогла добиться выдающихся результатов и закрепить за собой статус одного из ведущих автопроизводителей мировой индустрии.

Ключевым элементом его подхода являются 14 принципов бережливого производства, которые организованы в четыре раздела:

✓ долгосрочная философия. Предполагает управление с учетом долгосрочной перспективы, а не краткосрочной выгоды;

✓ правильный процесс дает правильные результаты;

✓ ценность для организации через развитие сотрудников и партнеров. Развитие человеческого потенциала находится в центре внимания принципов;

✓ изменение к лучшему или постоянное совершенствование (японская концепция Кайдзен).

В японских компаниях после Второй мировой войны, опираясь на технологию американцев, Кайдзен впервые появился на производстве, в частности, как часть метода Toyota. С тех пор он распространился по всему миру, он применяется и в сферах, не связанных с бизнесом и производительностью. Кайдзен также можно назвать улучшением без инвестиций из-за использования существующих ресурсов. Данная система вовлекает в процесс всех сотрудников, от генерального директора до работников сборочной линии.

Методика Кайдзен складывается из пяти основных правил грамотной организации рабочего пространства и распределения времени – *5S*. Предполагается, что улучшения могут быть достигнуты непрерывно, небольшими шагами. Это означает, что даже самые незначительные изменения могут привести к заметным результатам. Применяется в различных отраслях, включая производство, услуги, здравоохранение и образование. Компании, которые внедряют Кайдзен, заметно улучшают качество, повышают эффективность и уменьшают затраты.

Главное препятствие, мешающее распространению практики «Кайдзен» в России, по мнению автора работы [7], кроется в сознании самих предпринимателей. За последнее время многие компании совершили колоссальный рывок в развитии, и зачастую, окрыленные успехом своего быстрого старта, продолжают стремительное развитие и пытаются охватить всё и сразу. Сама идея «Кайдзен» предполагает методичное, постепенное и долгосрочное совершенствование отдельных элементов. Эффект от внедрения данной системы не может быть сиюминутным, а многие российские предприниматели именно его и ожидают. Руководители ряда компаний по-прежнему не осознают значимость мелких улучшений и часто отказываются выделять бюджет на мотивацию сотрудников. Вместо этого они сосредоточены на таких аспектах, как продажи и маркетинг, а также на повышении эффективности и совершенствовании производственных процессов.

В соответствии с ГОСТ Р 57524-2017, следует учитывать поток создания ценности, известный в англоязычной литературе как *Value Stream* – это ключевой этап в реализации

концепции бережливого производства. Эффективно организованный поток создания ценности позволяет снизить затраты, улучшить качество и увеличить удовлетворенность клиентов. Он включает в себя как добавляющие ценность шаги (например, производство, сборка), так и не добавляющие ценность (например, ожидание, транспортировка).

В материалах ГОСТ Р 57524-2017, приводится схема цикла потока создания ценности. Структура процесса состоит из элементарных последовательных или последовательно-параллельных цепей.

Элементарные последовательные цепи представляют собой линейную последовательность действий, где каждое действие зависит от предыдущего (рис. 1).

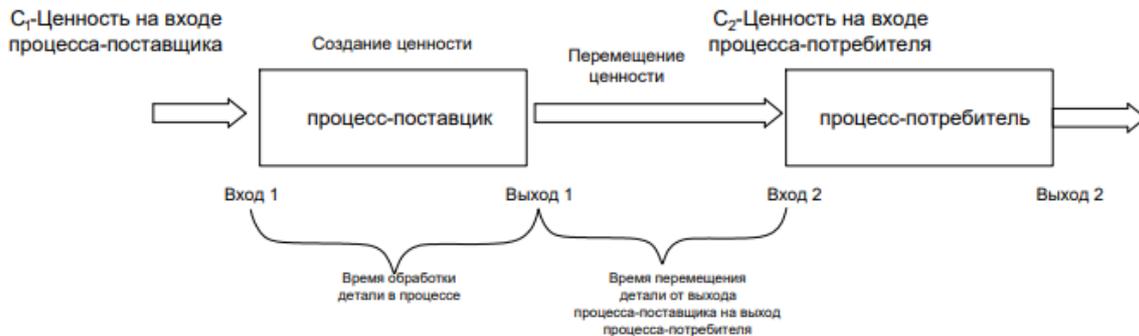


Рис. 1. Структура элементарного действия по созданию и перемещению ценности (последовательные цепи) ГОСТ Р 57524 – 2017

Пример: Фазы производственного процесса: заготовка → обработка → сборка → упаковка. Последовательно-параллельные цепи комбинируют элементы последовательности и параллельности, позволяя выполнять несколько действий одновременно (рис. 2).

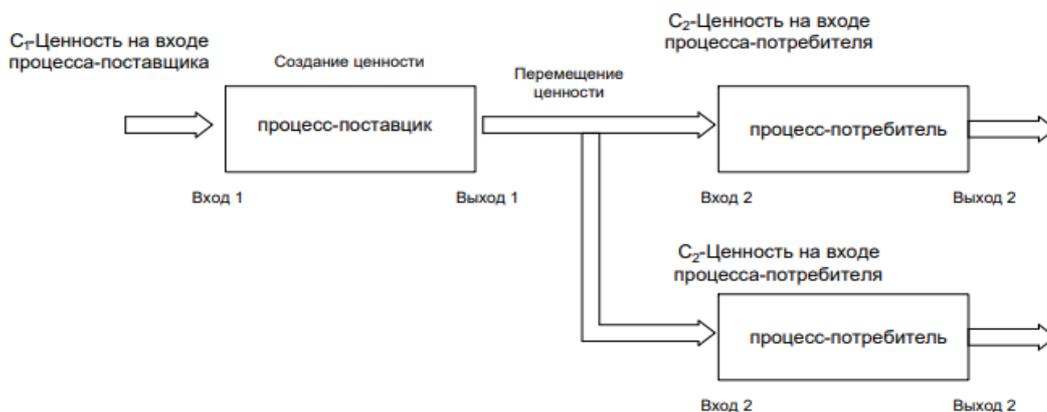


Рис. 2. Структура элементарного действия по созданию и перемещению ценности (последовательно-параллельные цепи) ГОСТ Р 57524 – 2017

Выбор между элементарными последовательными и последовательно-параллельными цепями зависит от специфики бизнеса, типов продукции и целей организации. Эффективно спроектированный поток создания ценности с учетом этих аспектов может значительно повысить производительность и удовлетворенность клиентов.

Разработка потока создания ценности – это важный инструмент для оптимизации бизнес-процессов и повышения их эффективности. Понимание текущего состояния, выявление потерь и внедрение улучшений позволяют компаниям оставаться конкурентоспособными и удовлетворять потребности клиентов. Применяя принципы бережливого производства, организации могут создавать не только ценность для себя, но и для своих клиентов, обеспечивая устойчивый рост и развитие.

Система «Точно вовремя». Система управления материальным потоком – это комплекс методов и инструментов, направленных на оптимизацию процесса перемещения материалов и ресурсов в рамках компании. В работе [8] рассматриваются два пути управления материальным потоком.

Система вытягивания основывается на принципе, что производство должно начинаться только тогда, когда есть спрос на готовую продукцию. Это означает, что материалы и компоненты «вытягиваются» из производства только по мере необходимости, а не выпускаются в больших количествах заранее.

Система втягивания, наоборот, предполагает, что производство осуществляется на основе прогнозов и планов. В этом случае, товары и материалы «втягиваются» в производственный процесс, независимо от наличия конкретного спроса. Это имеет место, когда предприятия производят заранее, ожидая, что продукция будет востребована.

На основании анализа, проведенного в [8], были построены схемы систем управления (рис.3, 4).

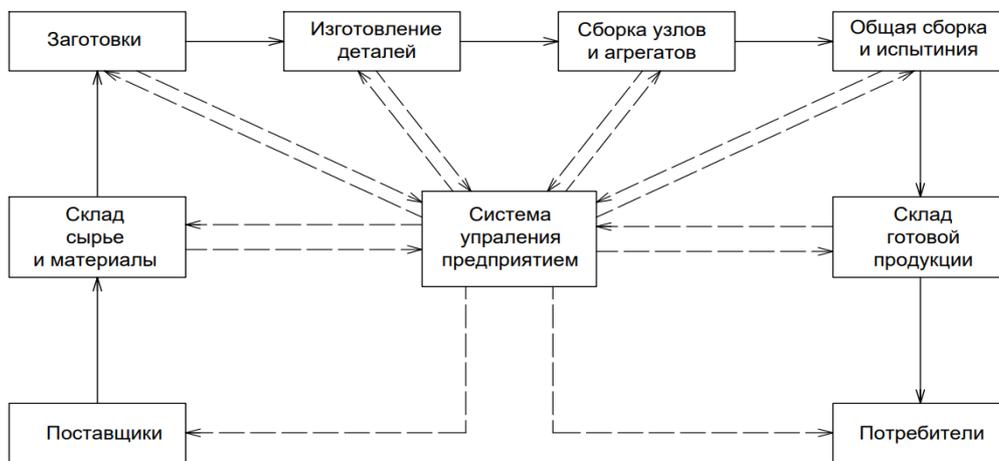


Рис. 3. Схема выталкивающей системы управления

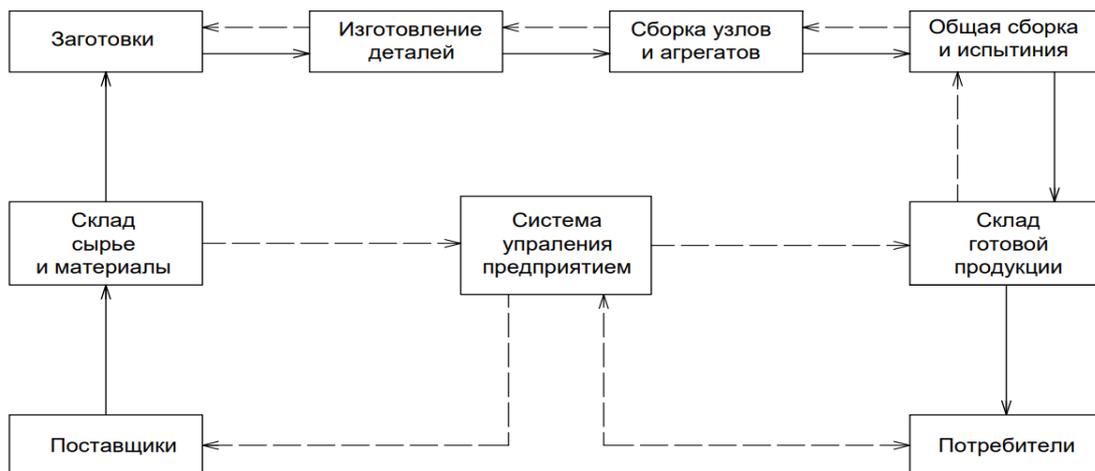


Рис. 4. Схема вытягивающей системы управления

Вытягивающей является система, известная в англоязычных источниках как *JIT* – *Just – in – time* – «точно вовремя», впервые озвученная основателем Toyota Сакити Тойодой, его сыном Киичиро Тойодой и инженером Тайити Оно. Производство по принципу «точно вовремя» пытается привести производство в соответствие со спросом, поставляя только те товары, которые были заказаны, и уделяет особое внимание эффективности,

производительности и минимизации потерь как для производителя, так и для поставщика. Реализация системы *JIT* становится возможной благодаря внедрению в предприятие методов и инструментов бережливого производства.

Система «5S и визуальное управление». Это важные методологии в бережливом производстве, направленные на организацию рабочего пространства и управление процессами для повышения эффективности. Название данной системы возникает из 5 главных терминов:

- ✓ *Seiri* (сортировка) – избавление от ненужных предметов в рабочей зоне;
- ✓ *Seiton* (систематизация) - организация рабочего места, обозначение мест для каждого предмета;
- ✓ *Seiso* (сияние) – чистота рабочего пространства и оборудования;
- ✓ *Seiketsu* (стандартизация) – создание и соблюдение инструкций;
- ✓ *Shitsuke* (самодисциплина) - постоянное обучение и развитие персонала.

Визуальное управление – это подход, который использует визуальные сигналы для передачи информации и управления процессами. Это помогает сделать информацию доступной и понятной для всех сотрудников [9]. Основные элементы визуального управления:

- ✓ визуальные сигналы: использование цветных меток, знаков и указателей для обозначения зон, инструментов и процессов;
- ✓ информативные доски: размещение графиков, диаграмм и другой информации, показывающей текущие показатели работы и достижения целей;
- ✓ стандарты визуализации: разработка стандартов для визуального представления информации, чтобы она была единодушной и понятной;
- ✓ статус и прогресс: использование индикаторов (например, светофоров) для отображения статуса выполнения задач и акцентирования внимания на проблемах.

Система *5S* и визуальное управление дополняют друг друга и вместе способствуют созданию организованного и эффективного рабочего места. Их применение улучшает качество, сокращает потери и повышает общую продуктивность на производстве. Внедрение этих методологий требует обязательного участия всех сотрудников и постоянного обучения.

Система всеобщего производительного обслуживания оборудования *TPM (Total Productive Maintenance)*.

В работе [10] описывается старт профилактического обслуживания оборудования в Японии, одновременно с которым начинает действовать метод *TPM*. При этом идея профилактики была заимствована из опыта США. В 1960 году компания *Nippondenso* первой осуществила внедрение профилактического обслуживания на уровне целого завода, что стало важной частью бережливого производства. *TPM* – концепция менеджмента производственного оборудования, нацеленная на улучшение надежности производственных систем, повышение эффективности технического обслуживания [10]. В системе *TPM* потери подразделяются на три группы:

- ✓ потери времени функционирования оборудования;
- ✓ потери рабочего времени, потери энергии;
- ✓ потери сырья, материалов и времени из-за ремонта инвентаря.

Цель системы подробно описана в работе [11] и заключается в оптимизации процессов управления производственными ресурсами, улучшении их эффективности и повышении уровня качества продукции. Система направлена на: обеспечение автоматизации управления, мониторинг состояния оборудования, поддержку принятия обоснованных решений для минимизации затрат и увеличения общей производительности. *TPM* способствует организации бесперебойного функционирования производственного процесса и улучшению координации между подразделениями предприятия. Система всеобщего производительного обслуживания оборудования (*TPM*) является ключевым элементом в стра-

тегическом повышении эффективности производственных процессов. Для успешного внедрения необходимо обеспечить поддержку всех уровней организации, от руководства до операторов оборудования. *TMP* способствует не только увеличению производственных мощностей, но и созданию культуры непрерывного улучшения на предприятии.

Система быстрой переналадки (в англоязычных источниках: *SMED – Single-Minute Exchange of Die*) – это методология, направленная на сокращение времени переналадки оборудования и процесса производства [9].

Основная цель этой системы заключается в повышении гибкости производства и уменьшении затрат на простой оборудования, что, в свою очередь, позволяет предприятиям быстрее реагировать на изменения в спросе и уменьшает время, необходимое для перехода с одного продукта на другой. В данной системе операции делятся на внутренние и внешние, что помогает оптимизировать процессы переналадки и повысить общую эффективность.

Внутренние операции – это действия, которые могут быть выполнены только тогда, когда оборудование остановлено. Эти операции непосредственно связаны с переналадкой и необходимо выполнять их в процессе настройки оборудования [9]. В качестве внутренних операций рассматриваются следующие: смена инструмента или оснастки, настройка параметров оборудования, проверка и калибровка, очистка оборудования и рабочей зоны, регулировка механизмов для нового продукта.

Внешние операции – это действия, которые можно выполнять, пока оборудование работает или до начала переналадки. Цель их заключается в том, чтобы минимизировать время простоя оборудования (рис. 5) [9]. В качестве внешних операций рассматриваются следующие: подготовка и сбор необходимых инструментов и оснастки, проведение предварительных настроек оборудования в ожидании переналадки, подготовка материалов и компонентов для нового продукта, обучение работников и инструкции по переналадке, документация и планирование процесса переналадки.

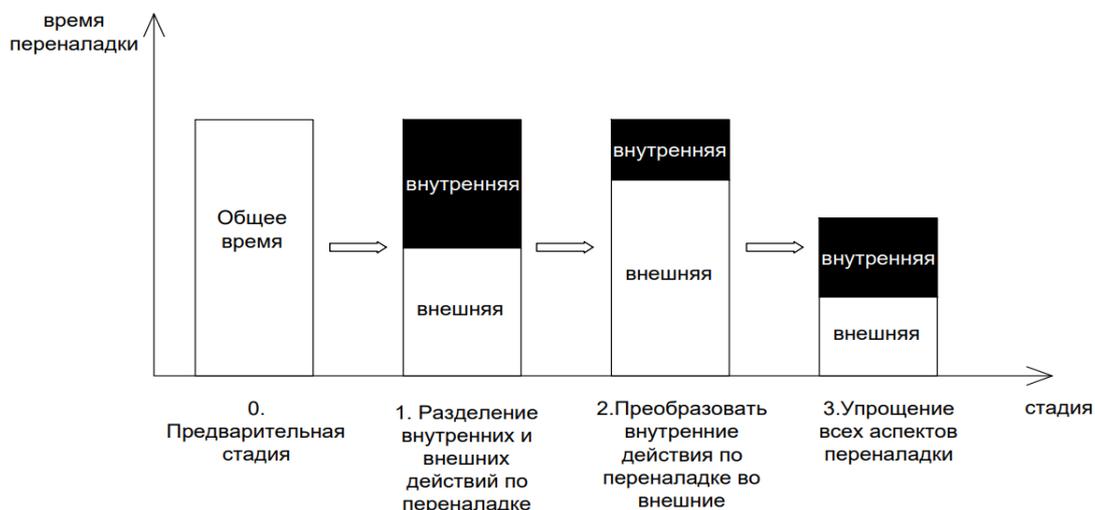


Рис. 5. График распределения времени переналадки от стадии

Цель *SMED* – перевести как можно больше внутренних операций во внешний режим, чтобы минимизировать остановки оборудования и сократить время переналадки. Грамотная организация как внутренних, так и внешних операций способствует значительному уменьшению времени и усилий, необходимых для переналадки, и повышает общую производительность предприятия.

Система «Канбан» – это метод управления процессами, который помогает оптимизировать и улучшать поток работы, особенно в производстве и управлении проектами

[11]. Реализует принцип «точно в срок», базируясь, в свою очередь, на четырёх основных принципах:

- ✓ интеграция изменений на основе существующих инструкций;
- ✓ планирование ключевых изменений заблаговременно;
- ✓ особое внимание к ранее установленным процессам и обязанностям в команде.
- ✓ стимулирование и поощрение инициативы команды.

Рассмотрим схему реализации системы «Канбан» (рис. 6) [11].

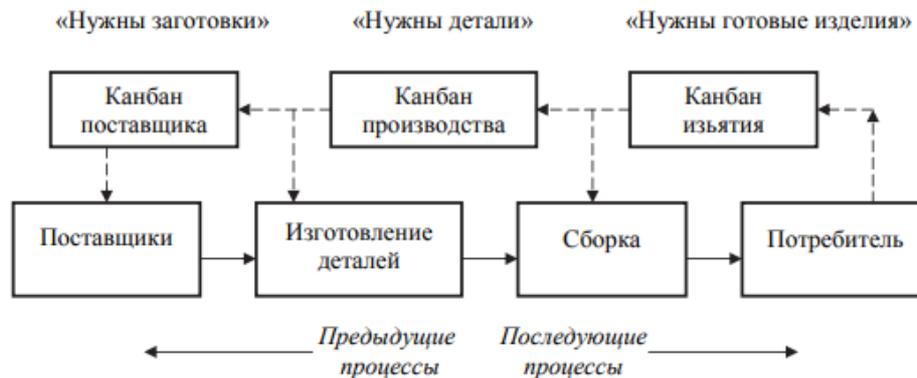


Рис.6. Схема реализации системы «Канбан»

Система Канбан может быть реализована как в физическом (бумажном), так и в цифровом формате. Оба подхода имеют свои особенности и преимущества, которые позволяют командам управлять рабочими процессами более эффективно. Рассмотрим каждый из них подробнее.

«Бумажный Канбан» представляет собой традиционный метод визуализации задач с использованием физических карточек, которые размещаются на видных местах, таких как доска или стенд. В его рамках карточки помогают отслеживать статус задач в процессе выполнения.

«Цифровой Канбан», осуществляется с помощью программного обеспечения, которое позволяет командам управлять задачами, используя виртуальные доски и карточки. В последние годы такие инструменты стали чрезвычайно популярными благодаря своим возможностям.

Система бездефектного изготовления продукции. (в англоязычных источниках: *ZQC - Zero quality control*) – управление качеством, ориентированное на достижение нуля дефектов [7]. Она включает программу правил пяти «не»:

- ✓ не создавать условия для появления дефектов;
- ✓ не передавать дефектную продукцию на следующую стадию;
- ✓ не принимать дефектную продукцию с прошлой стадии;
- ✓ не изменять технологические режимы;
- ✓ не повторять ошибок.

Применение принципов *ZQC* позволяет компаниям не только снижать затраты, но и повышать удовлетворенность клиентов, увеличивать производительность и улучшать рабочие процессы.

Внедрение бережливого производства и системы *Toyota* требует системного подхода и активного участия всех сотрудников. Руководство должно демонстрировать заинтересованность в обучении и развитии персонала, создавая культуру непрерывного улучшения. Компании требуют проведения мероприятий по обновлению как производственной сферы, так и системы управления, включая области производства, сбыта, услуг и государственного контроля. Прогрессивная деятельность развивается и включает в себя передо-

вой опыт и внедрение новшеств во все процессы, а также порождает инновационные системы управления.

Инновационная система управления представляет собой подход к организации и координации процессов в компании, который использует современные технологии и методы для повышения эффективности, гибкости и адаптивности.

Среди инновационных методологий управления можно упомянуть обозначаемую в англоязычной литературе как *Waterfall* (каскадная модель «водопад»). Принцип, лежащий в основе этой методологии, — последовательность. Плюсы и минусы данной системы управления оцениваются в работе [13].

Также следует упомянуть *AGILE* (гибкая методология), которая отличается от *Waterfall* по подходу и идеологии. Методология характеризуется небольшими циклическими изменениями, которые позволяют командам легко адаптироваться к изменениям требований и условий. Быстрые итерации и частые релизы позволяют организациям быстрее выводить продукты на рынок, что является критически важным в конкурентных отраслях [14].

Упомянув метод *Scrum*, следует отметить, что он имеет некоторое сходство с *Agile*, однако, в данном подходе весь рабочий цикл делится на короткие временные отрезки, называемые спринтами, а не на подпроекты. Каждый спринт продолжается от двух до четырех недель и предназначен для небольшой группы, состоящей максимум из 10 человек. По завершении спринта проводится обзор (*sprint review*), где команда получает обратную связь от заинтересованных сторон, что позволяет вносить корректировки.

Нельзя не упомянуть метод критической цепи (известный в англоязычной литературе как: *Critical Chain Project Management, CCPM*), который акцентирует внимание на оптимизации ресурсного обеспечения и временных рамок. Данный метод был предложен Элияху Голдраттом и базируется на принципах его теории ограничений [15].

Также известна интегрированная система управления проектами (*Integrated Project Management, IPM*) – комплексный подход к планированию, выполнению и контролю проектов, который объединяет различные методологии и инструменты для достижения поставленных целей [16]. Основная цель *IPM* — обеспечить эффективное взаимодействие между всеми участниками проекта, оптимизировать ресурсы и сократить временные рамки.

Исследования в области управления и принятия решений, демонстрируют постоянный рост своей актуальности. Это обусловлено всеобъемлющим проникновением в сферы общественной жизни, а также беспрецедентными конкурентными преимуществами, которые дает лидерство в этой области. Организации, уделяющие должное внимание грамотному и последовательному решению вышеупомянутых задач, способны продемонстрировать уверенный рост своего инновационного потенциала – характеристики и различные аспекты которого активно исследуются во множестве современных работ [2, 17, 18...23] и имеющие в настоящее время ключевое значение в условиях высокотехнологичной экономики.

Бережливое производство, как философия и методология, направлена на постоянное устранение потерь и оптимизацию процессов, что в свою очередь способствует повышению эффективности и качества продукции. Основные принципы *TPS*, такие как уважение к людям, непрерывное совершенствование и фокус на создании ценности для клиента, становятся основой для формирования успешных бизнес-процессов.

Заключение.

На основе проведенного анализа можно констатировать, что внедрение методов повышения эффективности, таких как Кайдзен, *5S*, и система «точно вовремя» (*Just-in-Time*), позволяет не только сократить затраты, но и улучшить рабочие условия, что в конечном итоге приводит к повышению мотивации сотрудников и их вовлеченности в процесс.

Использование подходов *AGILE* и *Scrum* дает возможность быстро реагировать на изменения потребностей клиентов и выводить на рынок новые продукты в более короткие сроки, минимизируя риски.

Успешное внедрение *TPS* в таких компаниях, как *Toyota*, служит ярким свидетельством эффективности бережливого производства, этот подход может быть адаптирован к специфике различных отраслей, так как демонстрирует свою универсальность и применимость в самых разных сферах бизнеса, от производства до сферы услуг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Применение риск-менеджмента в задачах управления: качественные и количественные методы / С. В. Артыщенко, А. А. Писарева, Д. И. Емельянов, Т. В. Степанова // Проектное управление в строительстве. – 2024. – № 2(31). – С. 24-39.
2. Применение методик креативности в задачах управления и для повышения инновационного потенциала предприятия / С. В. Артыщенко, В. В. Кадурын, Д. С. Никитин, А. М. Усачев, Т. В. Степанова // Проектное управление в строительстве. – 2024. – № 2(31). – С. 40-54.
3. **Вялов, А. В.** Бережливое производство: учебное пособие / А. В. Вялов. – Комсомольск-на-Амуре: Издательство ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 100 с.
4. **Стеблюк, И. Ю.** Основные принципы бережливого производства / И. Ю. Стеблюк // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2019. – Том 9. – № 1А. – С. 204-211.
5. **Soliman, M. H.** Toyota Standard Work: The Foundation of Kaizen / M. H. Soliman. – KDP, Personal Leans, March 2021. – 2021. – 131 p.
6. **Лайкер, Д.** Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира / Д. Лайкер; пер. с англ. Т. Гутман. – Москва: Издательский дом: Альпина Бизнес Бук, 2005. – 402 с.
7. **Попова, Е. С.** Внедрение комплексной системы постоянного улучшения («Кайдзен») на российских предприятиях: проблемы и ограничения / Е. С. Попова // Современные тенденции технических наук: материалы IV Международной научной конференции. – 2015. – С. 119-121.
8. **Pull Scheduling:** Hallett, D. Pull Scheduling Systems Overview [Электронный ресурс] / D. Hallett // Pull Scheduling. New York: East Aurora. – 2009. – Режим доступа: <http://pullscheduling.com/FreeLeanPullSchedulingBook.aspx>, свободный. – Загл. с экрана.
9. **Лукин, И. С.** Бережливые технологии в общественном питании. Тема 1. Система 5S и визуал: методический материал / И. С. Лукин, М. А. Вьюков, В. А. Колесникова. – Краснодар: Издательство центра дополнительного профессионального образования «Южная Столица», 2019. – 123 с.
10. **Пестерева, Е.** Канбан и «точно вовремя» на Toyota / Е. Пестерева; пер. с англ. под науч. ред. Ю. Адлер. – Москва: Издательский дом: Альпина Бизнес Бук, 2008. – 217 с.
11. **Krieg, G.** Production systems with Kanban management / G. Krieg // Lecture notes in economics and mathematical systems. – Germany: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005. – 236 p.
12. **Итикава, А.** ТРМ в простом и доступном изложении / А. Итикава, И. Такаги, Ю. Такэбэ и др. пер. с яп. А. Н. Стерляжникова, под науч. ред. В. Е. Растимешина, Т. М. Куприяновой. – Москва: РИА «Стандарты и качество», 2008. – 128 с.
13. **Вольфсон, Б.** Гибкие методологии разработки. Версия 1.2. / Б. Вольфсон. – СПб.: Издательский дом «Питер», 2012. – 112 с.
14. **Куценко, Е. И.** Каскадные и гибкие подходы к управлению проектами / Е. И. Куценко // Экономические науки. – 2022. – № 11(216). – С. 44-49.
15. **Goldratt E.** Purpose. Process of continuous improvement / E. Goldratt, Jeff Cox. – USA: North River Press, 2014. – 476 p.

16. **Loepp R.** Integrated Pest Management Manual / R. Lopp, B. Allen, S. Doyle, et al. – USA, Overland Park, Kansas: Operative Millers International, September 2016. – 122 p.
17. Использование парадокса Монти Холла в задачах управления проектами. Часть I. Оптимальный выбор стратегии повышения инновационного потенциала предприятия / С. В. Артыщенко, С. А. Баркалов, С. А. Баев, Е. А. Серебрякова, Д. В. Панфилов // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 10. – С. 3295-3299.
18. Инновационный потенциал предприятия: структура, значение, влияющие факторы / С. В. Артыщенко, Е. А. Серебрякова, И. С. Артыщенко, С. А. Баев, Е. И. Радинская // Проектное управление в строительстве. – 2023. – № 4. – С. 60-68.
19. Фрактальные структуры как важный аспект повышения инновационного потенциала территории / С. В. Артыщенко, Д. В. Панфилов, А. Г. Чигарев, С. П. Бондарь // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 1(28). – С. 99-108.
20. Исследование динамики развития инновационных процессов с помощью логистического уравнения Ферхюльста / С. Н. Дьяконова, С. В. Артыщенко, С. А. Баев, М. В. Гусев // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. – 2022. – Том 19. – № 4. – С. 80-84.
21. Исследование проблем осуществления инновационной деятельности на предприятиях строительной сферы / С. Н. Дьяконова, С. В. Артыщенко, Н. В. Щетинин, Д. Г. Мартиросян // Инновации, технологии и бизнес. – 2021. – № 2(10). – С. 47-52.
22. К вопросу о возможности достижения запланированного эффекта Бильбао и повышения инновационного потенциала территории / С. В. Артыщенко, Д. В. Панфилов, А. Г. Чигарев, С. П. Бондарь // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 2(29). – С. 71-84.
23. Особенности и новые возможности повышения инновационного потенциала предприятий РФ в свете ухода с рынка иностранных компаний / С. В. Артыщенко, А. А. Батехова, К. Н. Горюшкин, М. В. Гусев // Инновации, технологии и бизнес. – 2024. – № 1(15). – С. 9-14.

Поступила в редакцию 28 февраля 2025

CONCEPT OF LEAN MANUFACTURING AND MANAGEMENT, ANALYSIS OF ITS IMPLEMENTATION

S. V. Artyschenko, A. I. Kolosov, I. V. Belenko, K. E. Fefelova

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

Kolosov Alexander Ivanovich, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Vice-Rector for Academic Affairs, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20, e-mail: akolosov@cchgeu.ru

Inna Valeryevna Belenko, student of management department, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)276-40-07; e-mail: inna.belenko340@gmail.com

Kristina Elbrusovna Fefelova, student of management department, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)276-40-07; e-mail: khachirova.2020@mail.ru

Modern methods of decision making, management and manufacturing are becoming increasingly relevant in a highly competitive environment. The market is changing rapidly, consumer demands are increasing, companies are forced to adapt and introduce innovative approaches to management and manufacturing. Lean manufacturing and management concepts, along with innovative approaches, emphasize process optimization and efficiency improvement. This article examines the basic principles of lean manufacturing, its connection with the Toyota Production System (TPS), as well as other modern techniques that help companies make the most informed and effective management decisions. The article may be useful

to managers, researchers and students interested in modern methodologies in manufacturing and management, as well as the implementation of lean concepts in various industries.

Keywords: lean manufacturing; production management; production system.

REFERENCES

1. **Artyshchenko S. V., Pisareva A. A., Emelyanov D. I., Stepanova T. V.** *Application of Risk Management in Management Tasks: Qualitative and Quantitative Methods*. Project Management in Construction Issue. 2024. No. 2(31). Pp. 24-39. (in Russian)
2. **Artyshchenko S. V., Kadurin V. V., Nikitin D. S., Usachev A. M., Stepanova T. V.** *Application of creativity techniques in management tasks and to increase the innovative potential of the enterprise*. Project Management in Construction Issue. 2024. No. 2(31). Pp. 40-54. (in Russian)
3. **Vyalov A. V.** *Lean production: textbook*. Komsomolsk-on-Amur, Publishing house of FGBOU VPO "KNAGTU". 2014. 100 p. (in Russian)
4. **Steblyuk I. Y.** *Basic principles of lean production*. Economics: yesterday, today, tomorrow. 2019. T. 9. No. 1A. Pp. 204-211. (in Russian)
5. **Soliman M. H.** *Toyota standard work. Kaizen basis*. KDP, Personal Leans. 2021. 131 p.
6. **Liker D.** *Tao of Toyota: 14 principles of management of the world's leading company*. Moscow, Publishing House: Alpina Business Book. 2005. 402 p. (in Russian)
7. **Popova E. S.** *Implementation of a comprehensive system of continuous improvement ("Kaizen") at Russian enterprises: problems and limitations*. Modern trends in technical sciences: Proceedings of the IV International Scientific Conference. 2015. Pp. 119-121. (in Russian)
8. **Hallett D.** *Pull Scheduling Systems Overview*. New York: East Aurora, Pull Scheduling. 2009. <http://pullscheduling.com/FreeLeanPullSchedulingBook.aspx,free>. - Extracted from the screen.
9. **Lukin I. S., Vyukov M. A., Kolesnikova V. A.** *Lean technologies in public catering. Topic 1: System 5S and visual: methodical material*. Krasnodar, Publishing house of the center of additional professional education "South Capital". 2019. 123 p. (in Russian)
10. **Pestereva E.** *Kanban and Just-in-Time at Toyota*. Moscow, Publishing House: Alpina Business Book. 2008. 217 p. (in Russian)
11. **Krieg G.** *Production systems with Kanban management*. Germany, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Lecture notes in economics and mathematical systems. 2005. 236 p.
12. **Ichikawa A., Takagi I., Takebe Y. et al.** *TRM in simple and accessible presentation*. Moscow, RIA "Standards and Quality". 2008. 128 p. (in Russian)
13. **Wolfson B.** *Flexible Development Methodologies. Version 1.2*. St. Petersburg State University, Publishing House Peter. 2012. 112 p. (in Russian)
14. **Kutsenko E. I.** *Cascade and agile approaches to project management*. Economic Sciences. 2022. No. 11 (216). Pp. 44-49. (in Russian)
15. **Goldratt E., Cox J.** *Purpose. The process of continuous improvement*. USA, North River Press. 2014. 476 p.
16. **Lopp R., Allen B., Doyle S. et al.** *Integrated Pest Management Manual*. USA, Overland Park Kansas: Operative Millers International. September 2016. 122 p.
17. **Artyshchenko S. V., Barkalov S. A., Baev S. A., Serebryakova E. A., Panfilov D. V.** *Using the Monty Hall Paradox in Project Management Problems. Part I. Optimal choice of strategy to increase the innovation potential of the enterprise*. Engineering Gazette of Don. 2023. No. 10. Pp. 3295-3299. (in Russian)
18. **Artyshchenko S. V., Serebryakova E. A., Baev S. A., Artyshchenko I. S., Radinskaya E. I.** *Innovative potential of the enterprise: structure, value, influencing factors*. Project Management in Construction Issue. 2023. No. 4. Pp. 60-68. (in Russian)

19. **Artyschenko S. V., Panfilov D. V., Tchigarev A. G., Bondar S. P.** *Fractal structures as an important aspect of increasing the innovative potential of a territory.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 99-108. (in Russian)
20. **Dyakonova S. N., Artyschenko S. V., Baev S. A., Gusev M. V.** *Investigation of the dynamics of the development of innovative processes using the logistic Ferhulst equation.* Finance. Economy. Strategy. 2022. T. 19. No. 4. Pp. 80-84. (in Russian)
21. **Dyakonova S. N., Artyschenko S. V., Shchetinin N. V., Martirosyan D. G.** *Research of problems of implementation of innovative activity at enterprises of the construction sector.* Innovations, technologies and business. 2021. No. 2(10). Pp. 47-52. (in Russian)
22. **Artyschenko S. V., Panfilov D. V., Tchigarev A. G., Bondar S. P.** *On the issue of possibility of achieving the planned Bilbao effect and increasing the innovative potential of the territory.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 2(29). Pp. 71-84. (in Russian)
23. **Artyschenko S. V., Batekhova A. A., Goryushkin K. N., Gusev M. V.** *Features and new opportunities for increasing the innovation potential of Russian enterprises in the light of the withdrawal of foreign companies from the market.* Innovations, technologies and business. 2024. No. 1(15). Pp. 9-14. (in Russian)

Received 28 February 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Концепция бережливого производства и управления, анализ примеров ее реализации / С. В. Артыщенко, А. И. Колосов, И. В. Беленко, К. Э. Фефелова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 1(32). – С. 112-124. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.013.

FOR CITATION:

Artyschenko S. V., Kolosov A. I., Belenko I. V., Fefelova K. E. *Concept of lean manufacturing and management, analysis of its implementation.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 1(32). Pp. 112-124. DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.013. (in Russian)

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ **WRITING RULES AND GUIDELINE**

Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства. Периодичность издания – 4 раза в год.

Издание включено в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук с 22.12.2020 г.

Статьи в журнале публикуются бесплатно.

Осуществляется подписка на журнал «Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура». Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» **81025**. Физические лица могут оформить подписку на сайте <https://www.ppressa-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 А4; поля: левое – 3 см, правое – 1,5 см, верхнее – 2 см, нижнее – 2,5 см. Нумерация страниц не требуется. Объём рукописи – от 5 до 10 страниц, включая иллюстрации, таблицы, библиографический список и сведения об авторах.

Структура статьи:

русскоязычная часть:

- ✓ **индекс УДК** – в левом верхнем углу, прописными буквами (шрифт 12 пт, обычный);
- ✓ **название статьи** – прописными буквами с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **инициалы, фамилии авторов**, с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **сведения об авторах**: последовательно для каждого – фамилия, имя, отчество, ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почётные звания не указывать), должность, наименование учреждения, в котором работает автор, город, страна, контактный телефон; e-mail автора, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);
- ✓ **аннотация** объёмом от 200 до 250 слов, выравнивание по ширине, отступ слева и справа 1 см (шрифт 11 пт, обычный);

✓ **ключевые слова** от 5 до 12 слов, указывающие на принципиально важные объекты и особенности исследования, отделяются друг от друга точкой с запятой, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **текст статьи** (в тексте статьи должны быть отражены: актуальность проблемы, оценка степени ее разработанности, цели, задачи и методы решения научной задачи, полученные результаты). В конце статьи обязательно приводится **заключение**.

При оформлении текста статьи следует придерживаться следующих требований:

✓ русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) в тексте, формулах, подписях к рисункам и в таблицах набираются прямым шрифтом; латинские буквы – курсивом;

✓ в статье должен быть необходимый минимум формул, которые:

❖ следует набирать шрифтом Times New Roman в редакторе формул MS Equation или MathType;

❖ начинать с красной строки;

❖ располагать по центру и нумеровать арабскими цифрами в скобках у правого края страницы;

❖ ссылки на формулы в тексте – арабскими цифрами в скобках;

✓ рисунки и таблицы должны быть пронумерованы и добавлены в текст после первого упоминания;

✓ до и после рисунка и таблицы необходимо сделать пробел (шрифт 12 пт);

✓ иллюстрации представляются в редакцию

❖ в виде отдельных файлов (рисунков и фотографий), записанных с расширением .TIFF или .JPEG; линии чертежа – не тоньше 1 пт; иллюстрации, в том числе фотографии, должны иметь хорошую проработку деталей;

❖ подписи к рисункам нумеруются и располагаются под ними, выравнивание текста по центру (шрифт 10 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ таблицы оформляются следующим образом:

❖ шрифт выбирается автором самостоятельно с учетом возможности качественного чтения текста;

❖ наименования в таблицах даются полностью, без сокращения слов;

❖ номер таблицы располагается отдельно, выравнивание текста по правому краю (шрифт 10 пт, обычный);

❖ название таблицы размещается над таблицей, выравнивание текста по центру (шрифт 11 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**, составляемый по следующим правилам;

❖ список используемой литературы должен включать не менее 10 источников;

❖ шрифт 12 пт, выравнивание текста по ширине, абзацный отступ 1 см;

❖ в список включаются *только опубликованные работы*, в порядке упоминания в статье; ссылки на них в тексте статьи даются арабскими цифрами в квадратных скобках;

❖ в списке не должно быть нормативных документов (ГОСТ, СП, технических регламентов, правовых актов и т.п. неавторизованных источников) – ссылки на них даются в тексте статьи в развернутом виде или в форме подстраничных сносок;

❖ библиографические описания оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003; включенные в текст статьи или подстраничные библиографические ссылки следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008;

❖ ссылки на интернет-сайты не допускаются; для статей из зарегистрированных *электронных журналов* указываются фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, выходные данные выпуска, адрес сайта журнала и дата обращения к электронному ресурсу;

АНГЛОЯЗЫЧНАЯ ЧАСТЬ:

✓ **название статьи**;

✓ **инициалы, фамилии авторов**, выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);

✓ **сведения об авторах** – последовательно для каждого: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученые звания, должность, название организации (учреждения), города, страны, контактный телефон; e-mail автора; выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **аннотация**: перевод, идентичный русскому варианту;

✓ **ключевые слова** (Keywords);

✓ **библиографический список** (REFERENCES).



ISSN 2541-9110

9 772541 911015



25 >

