

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

ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 2(33), 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

№ 2(33), 2025

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

**ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО
и коммунальная инфраструктура**

Адрес редакции:

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





ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

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



Издается с 2017 года

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

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

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

Выходит 4 раза в год

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

Журнал публикует материалы по следующим разделам:

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

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

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

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» 81025.

Воронеж



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

Scientific journal

Voronezh State Technical University

Housing and Utilities Infrastructure



The journal has been publishing since 2017

Founder and publisher:

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

Address of the publisher and founder:

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

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

Published 4 times a year

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

Journal publishes materials on the following topics:

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

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

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

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

Voronezh

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редактор перевода: Козлова В. В.

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» 81025.

Дата выхода в свет 30.06.2025. Усл. печ. л. 14,8. Формат 60×84/8. Тираж 37 экз. Заказ № 157

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 30.06.2025. Conventional printed sheets 14,8. Format 60×84/8. Circulation 37 copies. Order 157

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>Шмелев А. Г., Шмелев Г. Д., Драпалюк Н. А., Алирзаев И. Ш.</i>	
Анализ процессов появления и роста трещин в каменных стенах зданий.....	9
<i>Чернышов Л. Н., Калгушкин А. Г.</i>	
Анализ совместимости форм и содержания проектной и эксплуатационной документации объектов недвижимости.....	21
<i>Высоцкий Д. Е., Николенко С. Д., Бурак Е. Э.</i>	
Влияние характеристик фибр на прочность сталефибробетона.....	31

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

<i>Сериков Г. С., Серикова И. А., Жилкин О. С., Головня А. Р.</i>	
Моделирование процессов в системах индукционного нагрева на нефтегазовых коммуникациях в условиях Крайнего Севера.....	39
<i>Китаев Д. Н., Хомяков М. С.</i>	
Энергетические показатели работы котлов типа КЕ при работе на буром угле.....	50
<i>Гатауллина А. Р., Мартяшева В. А., Торосян Н. Д.</i>	
Перспективы использования сжиженного газа в автономных котельных.....	58
<i>Григорьев С. В., Помогаева В. В.</i>	
Анализ причин отказа работы насосного оборудования при открытом водоотливе.....	65
<i>Петрикеева Н. А., Серикова И. А., Петрикеев А. Д.</i>	
Моделирование работы магистрального нефтепродуктопровода при наличии несанкционированной врезки.....	76

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО

<i>Золотарева Е. В.</i>	
Применение модульной сетки при проектировании ландшафтных объектов.....	84
<i>Коренькова Е. А., Ширяева Н. А., Силаева Ж. Г.</i>	
Анализ эффективности использования многолетних травянистых растений в городском озеленении для создания устойчивых фитокомпозиций.....	92

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

<i>Логунова Е. А., Каргашилов Д. В., Жидких Н. С.</i>	
Анализ экологической и пожарной безопасности электромобилей на протяжении всего жизненного цикла.....	100
<i>Соколов Д. А., Артыщенко С. В., Головина Е. И.</i>	
Математическое моделирование зон максимального шумового и вибрационного воздействия железнодорожного транспорта.....	108

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

<i>Макаровская А. Р., Лобанов Д. В., Кононова М. С., Степанова Т. В.</i>	
Анализ формирования тарифов на услуги холодного водоснабжения и водоотведения на примере ООО «РВК-ВОРОНЕЖ».....	118

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....	126
---	------------

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

<i>Shmelev A. G., Shmelev G. D., Drapalyuk N. A., Alirzaev I. S.</i> The causes of the appearance and growth of cracks in the stone walls of buildings.....	9
<i>Chernyshov L. N., Kalgushkin A. G.</i> Analysis of compatibility of forms and contents of design and operational documentation of real estate assets.....	21
<i>Vysotsky D. E., Nikolenko S. D., Burak E. E.</i> Influence of fiber characteristics on the strength of steel fiber-reinforced concrete.....	31

ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES

<i>Serikov G. S., Serikova I. A., Zhilkin O. S., Golovnya A. R.</i> Modeling of processes in induction heating systems in oil and gas supply lines in the far north conditions.....	39
<i>Kitaev D. N., Khomyakov M. S.</i> Energy performance indices of KE boilers fired with brown coal.....	50
<i>Gataullina A. R., Martiashova V. A., Torosyan N. D.</i> Prospects of using liquefied gas in autonomous boiler houses.....	58
<i>Grigoriev S. V., Pomogaeva V. V.</i> Analysis of the causes of pumping equipment failure in open drainage.....	65
<i>Petrikeeva N. A., Serikova I. A., Petrikeevev A. D.</i> Modeling the operation of a main oil product pipeline during an unauthorized tapping.....	76

URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

<i>Zolotareva E. V.</i> Application of modular grid in designing landscape facilities.....	84
<i>Korenkova E. A., Shiryayeva N. A., Silaeva Zh. G.</i> Analysis of the efficiency of using perennial herbaceous plants in urban landscaping to create sustainable floral compositions.....	92

ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

<i>Logunova E. A., Kargashilov D. V., Zhidkikh N. S.</i> Analysis of environmental and fire safety of electric vehicles throughout the life cycle.....	100
<i>Sokolov D. A., Artyshenko S. V., Golovina E. I.</i> Mathematical modeling of zones of maximum noise and vibration effects of railway transport.....	108

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

<i>Makarovskaya A. R., Lobanov D. V., Kononova M. S., Stepanova T. V.</i> Analysis of the formation of tariffs for cold water supply and sanitation services using the example of 'RVC-VORONEZH' LLC.....	118
---	-----

WRITING RULES AND GUIDELINES.....	126
--	------------

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.001

УДК 624.012.2: 539.421

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПОЯВЛЕНИЯ И РОСТА ТРЕЩИН В КАМЕННЫХ СТЕНАХ ЗДАНИЙ

А. Г. Шмелев, Г. Д. Шмелев, Н. А. Драпалюк, И. Ш. Алирзаев

Шмелев Андрей Геннадьевич, аспирант кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(920)468-66-22; e-mail: shmelev8@mail.ru

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

Драпалюк Наталья Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(910)241-01-35; e-mail: ndrapalyuk@cchgeu.ru

Алирзаев Имран Шири, канд. физ.-мат. 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)271-52-49; e-mail: imranalirzaev@yandex.ru

Проведено исследование наиболее вероятных причин появления, развития и роста трещин различного происхождения в каменных стенах зданий и сооружений. Выделены следующие группы трещин: усадочные, температурные, силовые и осадочные. Для каждой группы трещин проведен анализ причин их развития. При рассмотрении усадочных деформаций и трещин в каменных конструкциях выделены следующие виды деформаций: контракционная, влажностная и карбонизационная. Для влажностной и карбонизационной усадок определены предельные значения относительных деформаций. Отмечено, что влажностная усадка на порядок меньше карбонизационной. При этом показано, что влажностная усадка происходит в короткие сроки, а карбонизационная развивается в течение десятков лет, на протяжении всего срока эксплуатации зданий и сооружений. Подробно исследованы причины температурных деформаций материалов каменных стен, показаны причины трещинообразования температурных трещин. На конкретном примере проведено сравнение величин усадочных и температурных деформаций каменных стен, выполненных из силикатного кирпича. На основании расчетов температурно-усадочных деформаций показано и обосновано начало развития трещин в наружных стенах каменных зданий. Доказано, что раскрытие трещин в холодный период времени года по ширине значительно превышает возможности закрытия этих же трещин в теплый период года. Для трещин силового характера показаны стадии их развития, интенсивность внутренних напряжений в каменной кладке на каждой стадии развития трещин. Показано, что развитие силовых трещин в каменных конструкциях наружных стен здания, встречается крайне редко. Для осадочных трещин выполнено описание основных причин их вызывающих, показаны основные характерные очертания трещин. Дано описание причин трещин линейных вертикального направления и трещин арочного очертания в виде арок и полуарок.

Ключевые слова: каменные конструкции; осадочные трещины; силовые трещины; вертикальные и наклонные трещины; простенки.

В ходе проведения технических обследований наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений, особенно с наружными конструкциями из кирпича, находящимися в эксплуатации десятки лет, постоянно выявляются трещины. В соответствии с природой

© Шмелев А. Г., Шмелев Г. Д., Драпалюк Н. А., Алирзаев И. Ш., 2025

их образования и раскрытия различают трещины: усадочные, температурные, силовые и осадочные [1...4]. Исследованию трещин, причин их образования, а также технологиям их ремонта посвящено в последние годы большое количество научных публикаций. В рамках настоящей статьи попытаемся провести подробный анализ всех причин образования трещин и обосновать причины, вызвавшие их появление и развитие. Все дальнейшее рассмотрение причин образования трещин будет выполнено на примере стен из силикатного кирпича (т. к. большая часть построенных и строящихся сейчас в нашей стране зданий выполнена из силикатного кирпича) с опорой на требования действующего нормативно-технического документа СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции».

Усадочные трещины

Как следует из названия, основной причиной образования таких трещин является усадка материалов каменной кладки в процессе возведения и первых лет эксплуатации здания. Именно в первые годы эксплуатации зданий и сооружений в их каменных стенах происходят основные усадочные деформации, происходящие в том числе и под действием нагрузок, как от собственного веса стен, так и от передаваемых на них нагрузок от междуэтажных перекрытий и покрытий зданий и сооружений. Общая величина усадочных деформаций строительных материалов складывается из трёх видов усадок: контракционной, влажностной и карбонизационной [5]. В табл. 1 приведены экспериментальные значения разных видов усадок, полученные авторами работы [5], в ходе принудительной карбонизации образцов материалов.

Таблица 1

Влажностная и карбонизационная усадки строительных материалов [5]

Наименование материала	Усадка при высыхании, мм/м	Степень карбонизации, %	Карбонизационная усадка, мм/м
Цементный камень	0,30	55,0	2,4
Тяжелый бетон	0,15	35,0	1,9
Силикатный кирпич	0,30	48,0	3,2
Автоклавный газобетон	0,75	65,0	2,80

Как видно из табл. 1, цементный раствор и силикатный кирпич имеют одинаковую усадку при высыхании, но несколько отличающуюся карбонизационную усадку, что способствует появлению на границе раствора и силикатного кирпича в каменной кладке стен зародышевых микротрещин. При этом карбонизационная усадка на порядок выше усадки при высыхании. Фактически, в ходе эксплуатации строительных конструкций, процесс карбонизации оказывается значительно растянутым во времени, поэтому карбонизационная усадка материалов каменных стен происходит в течении всего срока эксплуатации здания.

В соответствии с основными положениями СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции» (п. 6.30) полное значение относительной деформации усадки кладки из кирпича, изготовленного на силикатном вяжущем, составляют $3 \cdot 10^{-4}$. Таким образом, каждый метр каменной кладки в процессе усадки укорачивается на 0,3 мм (что соответствует усадке при высыхании материалов). Однако с учетом значения карбонизационной усадки, полная усадка по кирпичу (именно он в кладке составляет основную массу материала) составляет 3,5 мм/м.

Например, пятиэтажный четырехподъездный жилой дом, выполненный по типовой серии 1-447, имеющий длину 67 200 мм, способен укоротиться в результате влажностной усадки на 20,16 мм, а в результате полной усадки, включая карбонизационную – на 235,2 мм. Поскольку укорочению здания в результате усадки будут мешать поперечные капитальные стены, расположенные в районах лестничных клеток, то усадочные трещины будут равномерно распределены в местах ослаблений (в районе оконных проемов), по всей длине фасадов. Торцевые фасады здания, в силу их меньшего размера по длине –

12 520 мм, укоротятся в результате влажностной усадки на 3,8 мм, а полная усадка может составить 43,8 мм.

Как показывает практика обследования жилых зданий, построенных по этой серии, а также другим аналогичным типовым сериям, усадочные трещины на торцевых фасадах, также образуются в районе оконных проемов. Свободной, равномерной усадке наружных и внутренних каменных стен зданий препятствуют конструкции междуэтажных перекрытий и бетонные стены подвалов, выполненные из бетонных фундаментно-стеновых блоков (ФБС), а также поперечные каменные стены, жестко связанные с продольными. Таким образом, получается, что в результате прохождения процесса усадки в материалах каменной кладки стен зданий образуются первоначальные микротрещины [5], сконцентрированные в основном в районе оконных проемов. Концентрация микротрещин у оконных проемов происходит по следующим причинам: в этих местах кладка по факту имеет ослабление; углы оконных проемов являются своеобразными концентраторами внутренних напряжений; верхние ряды кладки под оконными проемами ничем не удерживаются от свободных деформаций. Также в процессе усадки возможно появление первичных микротрещин в местах соединения продольных и поперечных стен, а также стен и перегородок. Поскольку усадка захватывает со временем все слои материалов стен, то и усадочные трещины способны распространяться на всю глубину (толщину) стен здания, т.е. усадочные трещины могут быть сквозными.

Сравнение значений усадки при высыхании цементного раствора и силикатного кирпича (0,3 мм/м по табл. 1) с предельной усадкой кладки из силикатного кирпича (0,3 мм/м или в относительных единицах $3 \cdot 10^{-4}$ по СП 15.13330.2020), показывает, что в ходе усадки высыхания кладки в теплый период времени, в кирпичной кладке наружных стен могут образовываться начальные микротрещины усадочного характера.

Усадочные трещины могут возникать на границах разно нагруженных участков стен. При этом усадка сопровождается вертикальными деформациями сжатия материалов стен, нагруженных разными по интенсивности нагрузками, и соответственно получающим разные по величинам деформации сжатия [6, 7].

Температурные трещины

Как известно из практики, наружные стены зданий испытывают на себе природно-климатические воздействия, характерные для района строительства, в котором возведено то или иное здание или сооружение. Наибольшее воздействие на наружные стены зданий оказывают температурные перепады между теплым и холодными периодами года. Анализ причин образования, роста и развития температурных трещин посвящены работы [8...10]. Для климатической зоны Пв, в которой расположен г. Воронеж, в соответствии с данными СП 131.13330.2020 «Строительная климатология», зафиксированы следующие температуры:

- ✓ температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 (для зданий нормального уровня ответственности) – минус 24 °С;
- ✓ температура воздуха с обеспеченностью 0,95 в теплое время года – плюс 25 °С;
- ✓ среднегодовая температура – плюс 6,8 °С.

Для рассмотрения и учета температурных деформаций не взяты максимальные положительные и отрицательные температуры, только потому, что каменные стены зданий обладают определенной тепловой инерционностью, которая в течение некоторого периода времени сохраняет накопившееся в стене тепло, не позволяя наружным слоям кладки охладиться до минимальных температур, а в теплый период экстремально нагреться.

Для учета полных температурных деформаций наружных каменных стен зданий необходимы также температурные параметры внутреннего воздуха в помещениях. Так в соответствии с табл. 1 ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» для жилых зданий установлены следующие оптимальные температурные интервалы:

- ✓ для холодного периода времени (жилые комнаты) : +20 ... +22 °С;
- ✓ для теплого периода времени (жилые комнаты): +20 ... +25 °С.

В качестве расчетного значения внутреннего воздуха в помещениях жилого дома может быть принята температура + 20 °С.

Коэффициент линейного расширения, характеризующий температурные деформации материалов, для каменной кладки стен из силикатного кирпича, в соответствии с таблицей 6.17 СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции», равен 0,00001 град⁻¹.

Для дальнейших расчетов температурных деформаций наружных каменных стен жилых зданий на температурные воздействия сделаем следующее допущение: за устойчивую среднюю температуру наружных стен здания примем среднюю температуру воздуха в помещении, равную +20 °С, с учетом нормируемого температурного перепада между поверхностью стены и окружающего воздуха равного 4 °С (по табл. 5 СП 50.13330 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий»). В итоге полученного допущения внутренняя поверхность стены имеет минимальную температуру +16 °С.

Для выполнения расчета температурных деформаций наружных стен здания следует определить относительную деформацию (укорочение) каменной кладки. Значение относительной деформации определяется по формуле:

$$\varepsilon = \sigma / E_0, \quad (1)$$

где σ – внутренние напряжения в каменной кладке, МПа; E_0 – модуль упругости (начальный модуль деформации) кладки МПа.

Значение модуля упругости (начального модуля деформации) кладки определяется с учетом вида деформаций (сжатия или растяжения), длительности действия нагрузки (кратковременные или длительно действующие) и коэффициента, учитывающего ползучесть кладки под нагрузкой.

$$E_0 = \alpha \cdot R_u, \quad (2)$$

где α – упругая характеристика кладки, равная для кладки из силикатного кирпича – 750 (табл. 6.16 СП 15.13330.2020); R_u – временное сопротивление (средний предел прочности) сжатию кладки, МПа.

Для дальнейших расчетов примем значение $R_u = 2,25 R$ (где коэффициент 2,25 по табл. 6.15 СП 15.13330.2020 учитывает толщину кладки, вид кирпича и работу конструкции стены на растяжение), где $R = 0,18$ МПа – расчетное сопротивление кладки осевому растяжению (для кладки из силикатного кирпича марки М100).

Коэффициент ползучести каменной кладки из силикатного кирпича – 3,0 (п. 6.27 СП 15.13330.2020).

Поскольку в дальнейшем мы рассматриваем температурные деформации каменной кладки на предмет образования трещин при температурном растяжении кладки, то принимаем внутренние напряжения в кладке равными расчетному сопротивлению кладки осевому растяжению. В этом случае относительные деформации каменной кладки стен здания по наиболее напряженному слою (внешний слой кладки наружных стен) могут быть определены из следующего уравнения:

$$\varepsilon = 3,0 \cdot R / (750 \cdot 2,25 \cdot R) = 0,0018.$$

Как видно из приведенного выше уравнения, относительные деформации кладки на уровне трещинообразования при растяжении никак не зависят от расчетного сопротивления кладки осевому растяжению и равны 0,0018.

Рассмотрим на примере фрагмента здания величины усадочных и температурных деформаций внешних слоев каменной кладки. Для этого примем следующую модель фрагмента наружной стены здания (рис. 1).

Фрагмент наружной стены здания (рис. 1) условно разделен на несколько участков, работающих в разных условиях.

Участок 1 – простенок, нагружен вертикальными нагрузками от собственного веса и

всех выше расположенных участков, включая выше расположенные участки 3, которые передают нагрузку посредством опорных зон железобетонных перемычек, установленных над оконными проемами.

Участок 2 – фрагмент стены, расположенный под или над участком 1, воспринимающий такие же нагрузки, как и участок 1, но дополнительно сжатый с двух сторон участками 3.

Участок 3 – подоконный участок, опирающийся на железобетонные перемычки, по сути своей работы является навесным участком стены. Участок 3 в стене дома оказывается зажатым с двух сторон участками 2. Расчетная схема участка 3 может быть представлена балкой-стенкой на упругом основании, с жестким закреплением по правому и левому торцам. Определим усадочные и температурные деформации для каждого участка (без учета вертикальных нагрузок) в горизонтальном направлении.

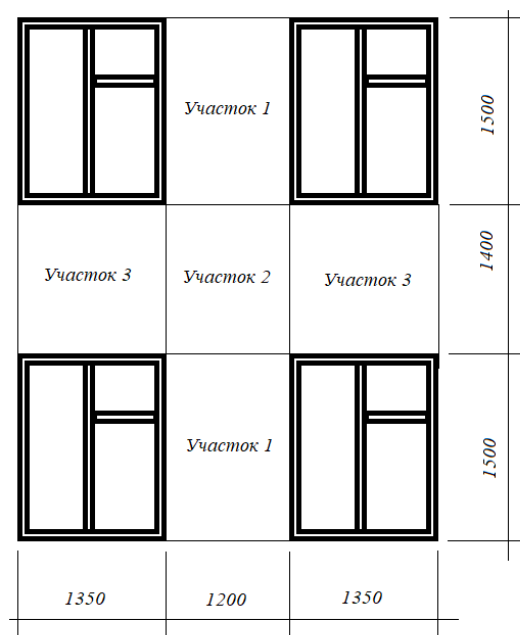


Рис. 1. Фрагмент наружной стены здания с разбиением на участки

Температурные деформации кладки определяем для внешнего слоя кладки, как наиболее напряженного в результате температурных воздействий. Максимально возможные деформации в каменной кладке могут быть определены по формуле:

$$\varepsilon = \alpha_t \cdot \Delta t \cdot L, \quad (3)$$

где α_t – коэффициент линейного расширения каменной кладки, град.⁻¹ (для кладки из силикатного кирпича равен 0,00001); Δt – перепад температур на внешней поверхности каменной кладки, °С; L – длина участка каменной кладки, мм.

В соответствии с приведенными выше значениями температур внутреннего и наружного воздуха определяем значение Δt как разницу температур наружного и внутреннего воздуха:

- ✓ для холодного периода времени года – $(16+26) = 42$ °С;
- ✓ для теплого периода времени года – $(29-22) = 7$ °С.

Значения длин участков каменной кладки принимаем в соответствии с рис. 1.

Все вычисления деформаций от усадки и температурных воздействий ведутся в предположении, что кладка выполнена из силикатного кирпича марки М100 на растворе марки М75. Результаты вычислений сведены в табл. 2.

Анализ результатов, приведенных в табл. 2, показывает, что в течении начального периода эксплуатации здания (период приработки) в стенах здания, на стыках участков 2

и 3 (см. рис. 1) появляются сначала микротрещины, вызванные усадкой при высыхании. Затем в период времени с отрицательными температурами близкими к минимальным для данного участка местности эти микротрещины постепенно прорастают и становятся видны невооруженным глазом. В ходе дальнейшей длительной эксплуатации внутрь конструкции, в том числе и через трещины, проникают газы, способствующие развитию процесса карбонизации раствора и силикатного кирпича. При этом начинается длительный процесс карбонизационной усадки, в ходе которого происходит постоянное увеличение роста трещин. При этом, как следует из результатов вычислений, приведенных в табл. 2, в летний период времени не происходит полного закрытия трещин, что видно из сравнения температурно-усадочных деформаций укорочения (без карбонизационной усадки) и температурных деформаций удлинения.

Таблица 2

Результаты вычислений температурно-усадочных деформаций каменных стен

Параметры деформаций кладки стены	Участок 1	Участок 2	Участок 3
Усадка при высыхании, мм	0,36	0,36	0,405
Карбонизационная усадка, мм	3,84	3,84	4,32
Суммарная усадка, мм	4,2	4,2	4,725
Температурное укорочение (максимальное), мм	0,504	0,504	0,567
Температурно-усадочные деформации укорочения (без карбонизационной усадки), мм	0,864	0,864	0,972
Полные температурно-усадочные деформации укорочения, мм	5,064	5,064	5,697
Температурные деформации удлинения (максимальные), мм	0,084	0,084	0,095

Анализ разбивки стены здания на участки и результатов расчета деформаций по участкам наталкивает на мысль, что трещины температурно-усадочного характера должны образовываться по вертикальным границам участков. Как показывает практика обследования зданий гражданского назначения (жилые и общественные). Трещины на стыках участков 2 и 3 (см. рис. 1) действительно имеют вертикальную направленность (см. рис. 2).

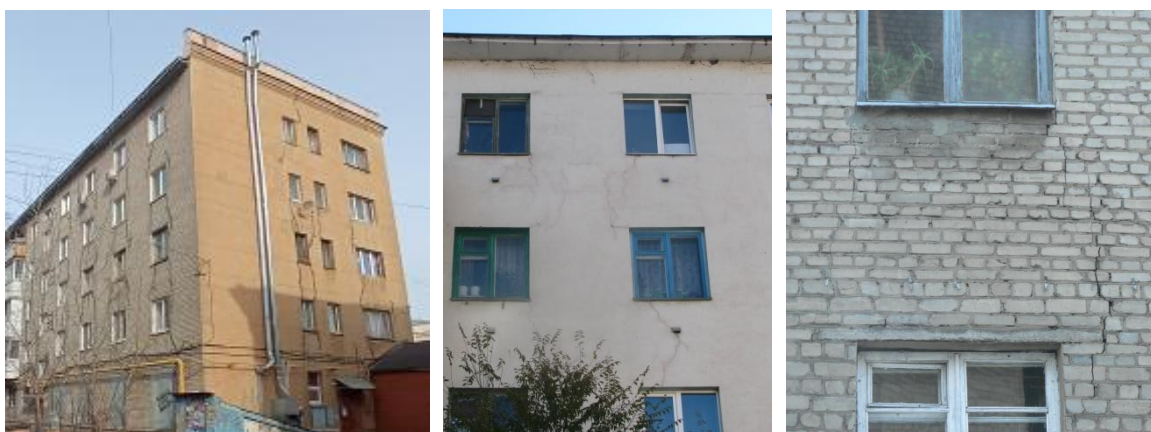


Рис. 2. Трещины под оконными проемами жилых зданий

Однако имеются еще и трещины под средней частью оконных проемов. Объяснение, почему трещины появляются именно в этих местах дает анализ расчётной схемы участка 3 (см. рис. 1). Как описано выше, расчетная схема участка 3 представляет собой балку стенку на упругом основании с защемлением слева и справа (на стыках с участками 2 на рис. 1). Расчетная схема участка 2 в двух взаимно перпендикулярных плоскостях показана на рис. 3.

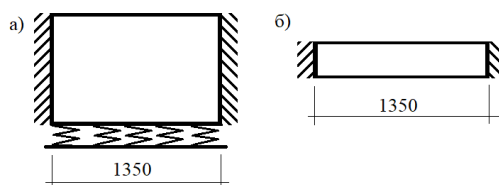


Рис. 3. Расчетная схема участка 3:

а – в вертикальной плоскости; б – в горизонтальной плоскости

В результате нагрева с внешней стороны внешний слой участка удлиняется и приводит к выгибу участка 3 из плоскости стены. В зимний период времени внешний слой кладки участка 3 охлаждается, укорачивается, и происходит выгиб кладки внутрь здания. В соответствии с расчетной схемой однопролетной балки, защемленной на двух опорах максимальные изгибающие моменты при нагружении такой балки, возникают на опорах вверху и в пролете внизу (при направлении нагрузки сверху-вниз). При смене направления нагрузки на балку на противоположное (снизу-вверх), максимальные изгибающие моменты зеркально переворачиваются. То же самое происходит при попеременном нагреве и охлаждении рассматриваемого участка стены. Поскольку один из максимальных моментов находится в середине пролета балки, то и наибольшие растягивающие напряжения в каменной кладке стены тоже будут располагаться в средней части.

Ответ на вопрос, почему трещины начинают образовываться в верхней части участка 3 (см. рис. 2) и начинают расти сверху вниз, также лежит в понимании работы расчетной схемы этого участка. Нижняя часть участка лежит на железобетонной перемычке и за счет сил трения кирпичной кладки о верхнюю поверхность железобетонной перемычки ограничена в свободных деформациях, что снижает вероятность образования трещины в нижней части участка 3. Соответственно, рост трещин по нижней грани участка 3 практически невозможен.

Силовые трещины

Как следует из названия, силовые трещины возникают в несущих элементах стен. В соответствии с рис. 1 к таким относятся участки 1 и 2. Именно по ним передается вертикальная нагрузка от выше расположенных конструкций к ниже расположенным. При этом силовая работа каменной кладки может быть разделена на четыре стадии (рис. 2).

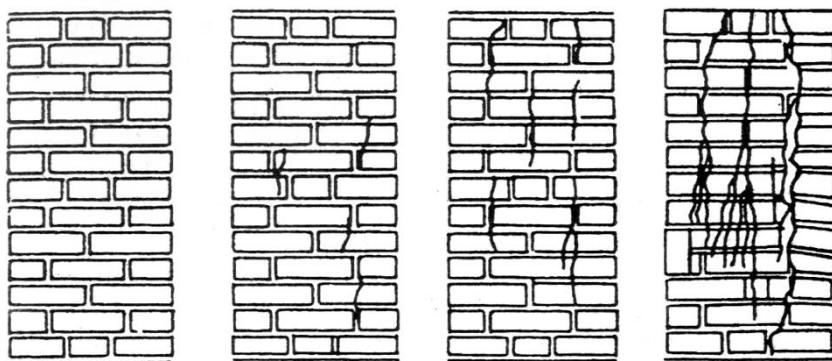


Рис. 4. Стадии развития трещин на участках каменной кладки

На первой стадии идет нормальная работа конструкций. Напряжения сжатия в материалах не превышают 15 % от разрушающей нагрузки. На второй стадии, когда несущая способность кладки оказывается по разным причинам снижена по сравнению с первой стадией. Внутренние растягивающие напряжения в каменной кладке достигают расчетного сопротивления кладки осевому растяжению, и как следствие появляются первые трещины, пересекающие не более двух рядов кладки. Внутренние напряжения в материалах кладки в этом случае достигают 15...25 % и более от разрушающей нагрузки. Третья ста-

дия характеризуется дальнейшим ростом трещин, их срастанием. Все это наблюдается при нагрузках на уровне 80...90 % от разрушающей. В четвертой стадии каменная кладка разделяется на отдельные столбы. Трещины по ширине раскрытия могут достигать нескольких сантиметров. Эксплуатация кладки на четвертой стадии недопустима, поскольку обрушение конструкции может произойти в любой момент времени. На практике силовые разрушения кладки встречаются крайне редко, но именно они являются наиболее опасным видом разрушения.

Осадочные трещины

Осадочные трещины в каменных стенах зданий возникают в случае возникновения проблем в системе «грунты основания – фундаменты» [11, 12]. К числу таких проблем можно отнести: неравномерное сжатие грунтов и их осадки под разными частями здания; наличие слабых или твердых включений в грунте локально под одной из частей здания; локальное увлажнение грунтов талыми или техногенными водами; наличие под зданием подземного ручья или реки, не выявленного в ходе проведения инженерно-геологических изысканий на площадке и ряд других.

Трещины осадочного характера разделяются на два вида: вертикальные, раскалывающие здание на независимые части; циркульного очертания, описывающие на стенах здания арки или полуарки. Общая картина трещинообразования в наружных стенах зданий хорошо представлена на схемах в работах [1, 2]. Для получения полного представления о положении трещин в наружных стенах зданий приводим некоторые из них (рис. 5).

Вертикальные трещины вызваны наличием твердых включений либо по центру здания, либо по его торцам. В этом случае трещины имеют по высоте разную ширину раскрытия, в первом случае с большей шириной раскрытия вверху, во втором – внизу. Трещины в виде арок и полуарок (рис. 5, б, в), поз. 4) характерны в случае появления слабых грунтов под разными частями здания.

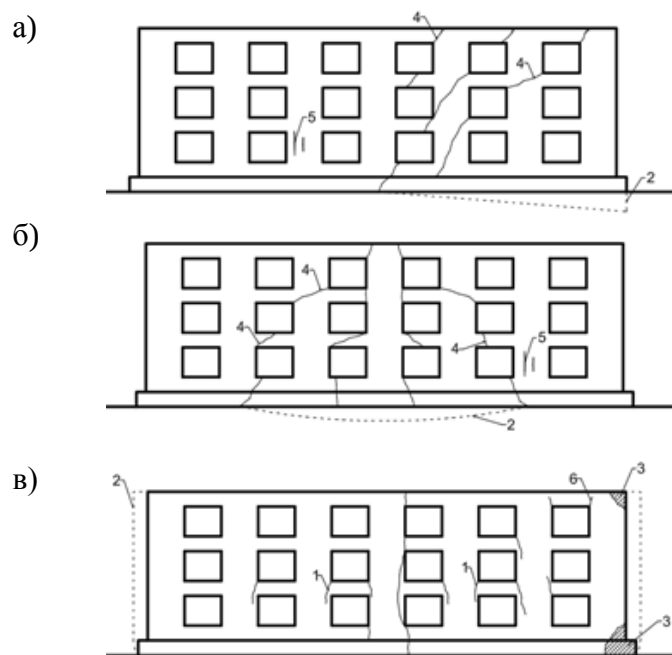


Рис. 5. Схемы образования трещин в наружных стенах зданий [2]: а – от неравномерных осадок, б – силовые; в) температурные; 1 – трещины в кладке от температурных воздействий; 2 – линии деформаций здания и грунтов основания; 3 – разрушения от увлажнения; 4 – трещины от осадок фундаментов; 5 – силовые трещины от перегрузки простенков; 6 – трещины, вызванные разницей температурных деформаций железобетонных перемычек и окружающей каменной кладки

Все трещины в стенах зданий оказывают влияние на внутренний микроклимат в зданиях в целом ухудшая условия пребывания людей в зданиях. В работах [13, 14] рассмот-

рены некоторые вопросы, не нашедшие отражения в тексте настоящей статьи. В частности, в работе [13] выполнено моделирование сквозных трещин в стенах зданий в зависимости от ширины их раскрытия. В работе [14] выполнено исследование, направленное расчетное обоснование температурно-усадочных деформаций в каменных стенах здания, что полностью совпадает с данными, приведенными в настоящей статье.

Заключение.

Проведен анализ наиболее вероятных причин трещинообразования в каменных стенах зданий. Рассмотрены усадочные, температурные, силовые и осадочные деформации каменных конструкций.

Рассмотрены основные виды усадочных деформаций строительных конструкций: контракционной, влажностной и карбонизационной. На основании анализа научных исследований получены численные значения влажностной и карбонизационной усадок. Выполнен расчет величин влажностной и карбонизационной усадок на примере фрагмента фасада каменной стены здания, выполненной из силикатного кирпича.

Математически доказан факт отсутствия на практике возможности закрытия температурных трещин, с учетом усадочных деформаций каменной кладки. Предложена модель разбивания наружных каменных стен фасадов зданий на различные участки, имеющие особенности в своей работе и разные температурно-усадочные деформации.

Проведен анализ появления и развития осадочных трещин, описан характер работы конструкций стен, имеющих трещины осадочного характера. Показан характер и развитие во времени трещин, в том числе с учетом изменения внутренних напряжений в материалах каменной кладки, силового разрушения нагруженных участков несущих каменных стен зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гроздов, В. Т.** Дефекты строительных конструкций и их последствия / В. Т. Гроздов. – СПб.: ООФ Центр качества строительства. – 2007. – 136 с.
2. **Добромыслов, А. Н.** Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам. Справочное пособие / А. Н. Добромыслов. – Москва: Издательство АСВ. – 2004. – 72 с.
3. Исследование причин образования трещин в кирпичных стенах / Ю. В. Юркин, В. В. Авдонин, О. В. Синицына, С. Л. Васильевых, С. А. Исупов // В сборнике: Новые технологии и проблемы технических наук. сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 62-66.
4. **Даниш, А. Б.** Причины появления и развития трещин в стенах зданий / А. Б. Даниш, В. В. Леденев, Я. В. Савинов // В сборнике: Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт. Материалы 6-ой Международной научно-практической конференции, посвящённой 40-летию юбилею Института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ. – 2019. – С. 323-327.
5. Усадочные деформации строительных материалов и пути их снижения / В. К. Козлова, Е. В. Божок, В. В. Логвиненко, Ю. С. Саркисов, Ю. А. Ильевский // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – Т. 20. – № 5. – С. 140-155.
6. **Соловьев, Р. А.** Причины трещин в местах сопряжения разнонагруженных кирпичных стен и способы их устранения / Р. А. Соловьев // В сборнике: Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения. Материалы IX научно-практической конференции. – 2018. – С. 253-258.
7. **Монастырский, А. Е.** Влияние состояния бутовых фундаментов на появление трещин в кирпичных стенах зданий / А. Е. Монастырский, Б. П. Филиппов // Вестник

МГСУ. – 2006. – № 1. – С. 188-190.

8. **Михайлов, В. В.** Трещины в кирпичных стенах зданий от температурных деформаций / В. В. Михайлов, В. И. Воронов, М. В. Попова, Е. И. Болотова // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции SWorld. Современные направления теоретических и прикладных исследований. – 2009. – Т. 28. – № 1. – С. 47-48.

9. **Ищук, М. К.** Механизм образования трещин в кладке лицевого слоя наружных стен при температурных воздействиях / М. К. Ищук, В. Л. Ищук, Г. И. Шапиро // Строительство и реконструкция. – 2021. – № 2(94). – С. 14-27.

10. **Паушкин, А. Г.** К вопросу об образовании температурных трещин в кирпичных стенах / А. Г. Паушкин // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4-3. – С. 173-177.

11. **Бабаев, Н. С.** Определение причин неравномерной осадки фундаментов зданий по характерным трещинам в деформированных стенах / Н. С. Бабаев, Г. С. Молотков, М. С. Швец // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 64. – С. 203-214.

12. Моделирование деформаций жилого кирпичного здания в условиях неравномерных осадок / В. В. Губанов, А. Н. Миронов, А. В. Пчеленко, Я. А. Зикий // Металлические конструкции. – 2019. – Т. 25. – № 3. – С. 99-112.

13. **Шмелев, А. Г.** Влияние трещин в наружных стенах здания на их теплозащитные характеристики / А. Г. Шмелев, Н. А. Драпалюк, Г. Д. Шмелев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 1(24). – С. 18-25.

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

Поступила в редакцию 1 марта 2025

THE CAUSES OF THE APPEARANCE AND GROWTH OF CRACKS IN THE STONE WALLS OF BUILDINGS

A. G. Shmelev, G. D. Shmelev, N. A. Drapalyuk, I. S. Alirzaev

Andrey Gennadievich Shmelev, Postgraduate student at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(920)468-66-22; e-mail: shmelev8@mail.ru

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

Natalya Alexandrovna Drapalyuk, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, tel.: +7(910)241-01-35; e-mail: ndrapalyuk@cchgeu.ru

Imran Shiri Alirzaev, Cand. Sc. (Phys. and Math.), 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)271-52-49; e-mail: imranalirzaev@yandex.ru

The article examines the most probable causes of the appearance, development and growth of cracks of various origins in the stone walls of buildings and structures. We identified the following groups of cracks: shrinkage, temperature, force, and subsidence. We carried out analysis of the causes of their development for each group of cracks. When considering shrinkage deformations and cracks in stone structures, the following types of deformations are distinguished: contractional, humidity and carbonation. We determined limit values of relative deformations for moisture and carbonation shrinkage. It is noted that the moisture shrinkage is ten times less than the carbonation shrinkage. At the same time, it is shown that moisture shrinkage occurs in a short period of time, and carbonation develops over the course of decades, throughout the entire life of buildings and structures. We researched in detail the causes of temperature deformations of stone wall materials, and showed the causes

of temperature cracking. Using a specific example, we compared the values of shrinkage and temperature deformations of stone walls made of silicate bricks. Based on calculations of temperature and shrinkage deformations, we showed and justified the beginning of the development of cracks in the exterior walls of stone buildings, proved that the opening of cracks in the cold season significantly exceeds the width of the possibility of closing the same cracks in the warm season. For cracks of a force nature, we demonstrated the stages of their development and the intensity of internal stresses in the masonry at each stage of crack development. It is shown that the development of force cracks in the stone structures of the exterior walls of the building is extremely rare. We described the main causes of subsidence cracks, and described the main characteristic outlines of the cracks. We as well described the causes of linear vertical cracks and arched cracks in the form of arches and semi-arches.

Keywords: stone structures; subsidence cracks; force cracks; vertical and inclined cracks; piers.

REFERENCES

1. **Grozдов V. T.** *Defects of building structures and their consequences*. SPb. NGO Center for Construction Quality. 2005. 137 p. (in Russian)
2. **Dobromyslov A. N.** *Assessment of the reliability of buildings and structures by external signs. Reference manual*. Moscow, Publishing House of the DIA. 2004. 72 p. (in Russian)
3. **Yurkin Yu. V., Avdonin V. V., Sinitsyna O. V., Vasilyev S. L., Isupov S. A.** *Investigation of the causes of cracks in brick walls*. In the collection: New technologies and problems of technical sciences. Collection of scientific papers based on the results of the international scientific and practical conference. 2017. Pp. 62-66. (in Russian)
4. **Danish A. B., Ledenev V. V., Savinov Ya. V.** *The causes of the appearance and development of cracks in the walls of buildings*. In the collection: Sustainable development of the region: architecture, construction, transport. Materials of the 6-th International Scientific and Practical Conference dedicated to the 40th anniversary of the Institute of Architecture, Construction and Transport of TSTU. 2019. Pp. 323-327. (in Russian)
5. **Kozlova, V. K., Bozhok E. V., Logvinenko V. V., Sarkisov Yu. S., Ilyevsky Yu. A.** *Shrinkage deformations of building materials and ways to reduce them*. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2018. Vol. 20. No. 5. Pp. 140-155. (in Russian)
6. **Solovyov R. A.** *Causes of cracks at the junctions of multi-loaded brick walls and ways to eliminate them*. In the collection: Survey of buildings and structures: problems and solutions. Materials of the IX scientific and practical conference. 2018. Pp. 253-258. (in Russian)
7. **Monastyrsky A. E., Filippov B. P.** *The influence of the condition of rubble foundations on the appearance of cracks in brick walls of buildings*. Bulletin of MGSU. 2006. No. 1. Pp. 188-190. (in Russian)
8. **Mikhailov V. V., Voronov V. I., Popova M. V., Bolotova E. I.** *Cracks in brick walls of buildings from temperature deformations*. Collection of scientific papers based on the materials of the international scientific and practical conference SWorld. Modern directions of theoretical and applied research. 2009. vol. 28. No. 1. Pp. 47-48. (in Russian)
9. **Ischuk M. K., Ischuk V. L., Shapiro G. I.** *The mechanism of crack formation in the masonry of the front layer of exterior walls under temperature influences*. Construction and reconstruction. 2021. No. 2(94). Pp. 14-27. (in Russian)
10. **Paushkin A. G.** *On the formation of temperature cracks in brick walls*. Bulletin of MGSU. 2010. No. 4-3. Pp. 173-177. (in Russian)
11. **Babaev N. S., Molotkov G. S., Shvets M. S.** *Determination of the causes of uneven precipitation of building foundations by characteristic cracks in deformed walls*. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2017. No. 64. Pp. 203-214. (in Russian)
12. **Gubanov V. V., Mironov A. N., Pchelenko A. V., Zikiy Ya. A.** *Modeling of defor-*

mations of residential brick buildings in conditions of uneven precipitation. Metal structures. 2019. Vol. 25. No. 3. Pp. 99-112. (in Russian)

13. **Shmelev A. G., Drapalyuk N. A., Shmelev G. D.** *The influence of cracks in the exterior walls of buildings on their heat-protective characteristics.* Housing and communal services and communal infrastructure. 2023. No. 1(24). Pp. 18-25. (in Russian)

14. **Shmelev G. D., Sazonov E. V., Ishkov A. N.** *Calculation of temperature deformations of stone walls of a building.* Housing and communal infrastructure. 2024. No. 1(28). Pp. 9-18. (in Russian)

Received 1 March 2025

Для цитирования:

Анализ процессов появления и роста трещин в каменных стенах зданий / А. Г. Шмелев, Г. Д. Шмелев, Н. А. Драпалюк, И. Ш. Алирзаев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 2(33). – С. 9-20. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.001.

FOR CITATION:

Shmelev A. G., Shmelev G. D., Drapalyuk N. A., Alirzaev I. S. *The causes of the appearance and growth of cracks in the stone walls of buildings.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 9-20. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.001. (in Russian)

АНАЛИЗ СОВМЕСТИМОСТИ ФОРМ И СОДЕРЖАНИЯ ПРОЕКТНОЙ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ

Л. Н. Чернышов, А. Г. Калгушкин

Чернышов Леонид Николаевич, профессор, д-р экон. наук, профессор кафедры жилищно-коммунального комплекса, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация, тел.: +7(495)779-14-38; e-mail: leo.chern@yandex.ru
Калгушкин Алексей Григорьевич, аспирант, кафедра жилищно-коммунального комплекса, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация, тел.: +7(495)779-14-38; e-mail: aleksey@kalgushkin.ru

Безопасность и долговечность функционирования сданных в эксплуатацию зданий, строений, сооружений зависит от качества, эффективности и своевременности выполнения работ персоналом эксплуатационных организаций. В свою очередь осуществляемая деятельность по содержанию, обслуживанию и ремонту конструктивных элементов, инженерных систем и оборудования объектов недвижимости невозможна без использования технической документации (чертежей, схем, журналов, инструкций паспортов и др.). Проведен анализ нормативно-правовых актов (НПА) в сфере строительства, регулирующих организацию и осуществление деятельности проектных, строительных, экспертных, эксплуатирующих организаций и отраслевых органов исполнительной власти. Результаты исследования позволили сформулировать предложения о необходимости внесения дополнения в существующие НПА в части, касающейся возможности использования различной документации на эксплуатационном этапе жизненного цикла объекта капитального строительства. Проведен анализ совместимости форм и содержания исходной и эксплуатационной документации, передаваемой застройщиком эксплуатационной организации, а также рассмотрены возможности её синхронизации в рамках внедрения цифровых информационных моделей объектов капитального строительства. Описаны преимущества использования электронных документов на эксплуатационном этапе жизненного цикла объекта капитального строительства, в том числе трансформация электронных документов в интерактивные электронные документы, для более доступных форм организации выполнения регламентных работ персоналом эксплуатирующей организации. Показаны перспективы дальнейшего использования интерактивных электронных документов в образовательном процессе учреждений образования.

Ключевые слова: эксплуатация зданий; техническая документация; электронная и интерактивная документация; цифровизация; эксплуатационная организация.

Эксплуатация представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, включающий управление, эксплуатационный контроль, техническое обслуживание, содержание и текущий ремонт зданий, строений, сооружений (далее – ЗСС), гарантирующих предоставление соответствующих коммунальных услуг, на протяжении всего периода эксплуатации, а также функционирование объекта недвижимости по назначению.

Эксплуатационный этап жизненного цикла объекта капитального строительства (ОКС) начинается с момента введения объекта в эксплуатацию, в процедуру которого входит передача собственнику или уполномоченной им эксплуатирующей организации скомплектованной, в соответствии с СП 68.13330.2017 «СНиП 3.01.04-87 Приемка в эксплуатацию законченных строительством объектов. Основные положения», исполнительной и эксплуатационной документации.

Требования к передаваемой документации определены в «Положении о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 16.02. 2008 г. N 87, где в частности предусмотрен раздел «Мероприятия по обеспечению безопасной эксплуатации объектов капитального строительства», сформированный на основе норм статьи 17 федерального закона № 337 – ФЗ от 28.11.2011г. «О внесении изменений в Градостроительный кодекс РФ и отдельные законодательные акты РФ» и пунктом 9 статьи 15 «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений».

Соблюдение данного требования является важнейшим фактором, способствующим обеспечению надежного и безопасного функционирования здания, строения, сооружения по его функциональному назначению в течение достаточно продолжительного периода времени (от 30 до 100 лет и более).

Таким образом, наличие и использование эксплуатирующей организацией исполнительной и эксплуатационной (далее – технической) документации, является неременным условием качества и надежности функционирования объекта недвижимости.

Важным элементом ведения технической документации на эксплуатационном этапе жизненного цикла объекта капитального строительства, является полнота и своевременность внесения в неё всех изменений, которые возникают в конструкциях, инженерном оборудовании и системах ЗСС, происходящих в процессе выполнения работ по их содержанию, обслуживанию и ремонту. Это позволит не только давать объективную оценку качеству выполняемых работ, но и избежать в последствии ошибок, при осуществлении дальнейшей эксплуатации объекта недвижимости.

Необходимо заметить, что использование полного комплекта технической документации в мировом опыте эксплуатации ЗСС отмечается как основа рационального использования энергетических и финансовых ресурсов, залогом обеспечения нормативных сроков службы объекта капитального строительства [1].

Рассматривая основы безопасной эксплуатации ЗСС на эксплуатационном этапе жизненного цикла, следует отметить неременные условия, касающиеся не только использования эксплуатирующей организацией в своей деятельности двух видов технической документации – исполнительной (чертежи деталей и узлов, схемы, разрезы, сечения и др.) и эксплуатационной (журналы, паспорта, акты, ведомости, планы и пр.), но и различия, лежащие в основе их разработки и оформлении.

В первую очередь это обусловлено тем, что эксплуатация объектов недвижимости невозможна без использования в процессе выполнения работ по техническому обслуживанию, содержанию и текущему ремонту:

- ✓ чертежей деталей и узлов конструкции ЗСС, представленных в виде разрезов и сечений (рис. 1);
- ✓ схем прокладки инженерных систем;
- ✓ чертежей «привязки» устанавливаемых приборов и оборудования (рис. 2), которые разрабатываются на стадии проектирования и строительства объекта.

В соответствии с требованиями национального стандарта ГОСТ 2.601-2006 «Единая система конструкторской документации», чертежи деталей и узлов, схем, разрезов, сечений, это в первую очередь конструкторские документы, разработка которых стандартизирована, то есть ведется строго по требованиям указанным в вышеупомянутом национальном стандарте и других стандартах в соответствующей области деятельности.

Данные обстоятельства «делают» эти документы, выпускаемые в бумажном виде, актуальными для «прочтения» и понимания инженерно-техническим и линейным персоналом строительных и эксплуатирующих организаций вне зависимости от авторства и места их разработки. Более того, в части 7 статьи 53 Градостроительного кодекса РФ указано, что исполнительная документация должна храниться в течение всего срока эксплуатации здания, строения, сооружения.

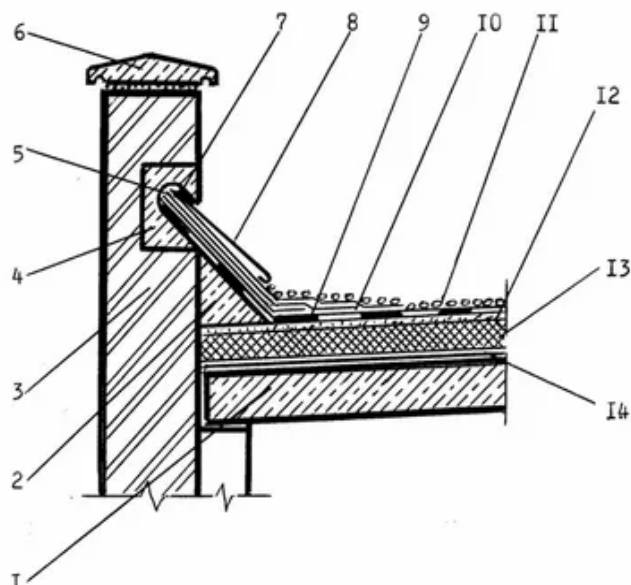


Рис. 1. Детализовка элементов примыкания кровли к стене здания:

- 1 – плита покрытия; 2 – бортик; 3 – парапет стеновой; 4 – цементный замок; 5 – мастика герметизирующая;
 6 – плита парапетная; 7 – гидроизоляция рулонная; 8 – фартук защитный оцинкованный;
 9 – диффузионная прослойка; 10 – дополнительный слой гидроизоляции;
 11 – защитный слой из гравия, втопленного в битумную мастику; 12 – стяжка цементная;
 13 – утеплитель; 14 – пароизоляционный слой

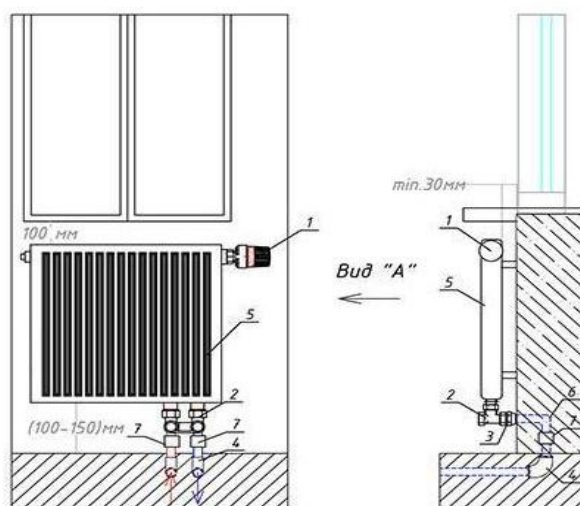


Рис. 2. Чертеж установки прибора отопления:

- 1 – головка термостатическая; 2 – узел нижнего подключения;
 3 – переходник; 4 – отвод 90; 5 – отопительный прибор (радиатор отопления);
 6 – отвод крутоизогнутый; 7 – муфта соединительная

Согласно требованиям, СП 255.1325800.2016. «Свод правил. Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения», эксплуатационная документация делится на документацию длительного хранения и документацию, заменяемую в связи с истечением срока ее действия. И та и другая документация носит рабочий, прикладной характер, раскрывающая процедурные вопросы организации деятельности персонала организации осуществляющей функции содержания, обслуживания и ремонта конструктивных элементов, инженерных системах и оборудовании объектов недвижимости в соответствии с требованиями заключенных договоров и технических регламентов [2].

Таким образом, эксплуатационная документация, приведенная в СП 255.1325800.2016 носит в основном информационно – статистический и учетный ха-

рактар (журналы, паспорта, акты, ведомости, планы и пр.), в то время как работы по техническому обслуживанию, содержанию и текущему ремонту конструктивных элементов и инженерных систем зданий, строений, сооружений осуществляются в соответствии с утвержденными планами - графиками и правилами и нормами технической эксплуатации зданий, строений и сооружений, с использованием «исполнительных схем» и «рабочих чертежей», которые, в соответствии с Приказом Минстроя России № 344/пр от 16.05.2023г. «Об утверждении состава и порядка ведения исполнительной документации при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства» входят, в пакет исполнительной документации, передаваемой эксплуатирующей организации в рамках процедуры ввода объекта капитального строительства в эксплуатацию.

В тоже время формы эксплуатационных документов длительного хранения и заменяемых с течением времени эксплуатации объекта недвижимости не стандартизированы. В нормативно – правовых документах, регулирующих деятельность по эксплуатации объектов недвижимости, приводятся лишь требования к содержанию этих документов. Единственным формализованным эксплуатационным документом, является «Инструкция по эксплуатации многоквартирного дома»¹, которая была разработана в соответствии постановлениями Правительства РФ, регулирующими вопросы осуществления деятельности по управлению многоквартирными домами, а также правилами содержания общего имущества в многоквартирном доме

Кроме того, эксплуатационные документы не синхронизированы по форме и содержанию с исполнительной документацией, что затрудняет «перенос» и внесения сведений в исполнительную документацию, касающихся изменений в элементах и инженерных системах ЗСС, которые возникают в процессе выполнения работ по их содержанию, обслуживанию и ремонту.

Более того, соответствующие требования к порядку ведения эксплуатационной документации, по аналогии с журналами общестроительных и специальных работ (см. приказ Минстроя России от 2.12.2022 г. N 1026/пр) в строительных нормативно-методических документах, не установлены.

В свою очередь, для контроля достоверности соответствия объекта требованиям проектной документации, в том числе с учетом внесенных в неё изменений на стадии строительства, не случайно в числе «подписантов» актов (приложение 4 и 5 , в составе исполнительной документации, утвержденной приказом Минстроя России № 344/пр от 16.05.2023г. значится «лицо, ответственное за эксплуатацию здания сооружения».

В тоже время, в СП 68.13330.2017 упоминание о таком «лице», представляющем интересы собственника объекта недвижимости или уполномоченной им эксплуатационной организации, которая принимает на себя бремя эксплуатации ЗСС на ближайшие 30 – 50 лет, отсутствует.

В настоящее время, исходя из анализа утвержденных и реализуемых в стране Национальных проектов, все большее внимание уделяется вопросам комфорта и безопасности строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений, создаются инновационные инструменты развития территорий.

При этом, не секрет, что основой безопасности объектов недвижимости, является мониторинг и качественный анализ рисков, возникающих в процессе износа основных элементов и инженерных систем ЗСС, а также полнота и достоверность исходной и накопленной информации о их состоянии.

Сегодня именно цифровые технологии позволяют собирать и использовать большой объем данных о состоянии элементов зданий сооружений, инженерных системах и оборудо-

¹ «Инструкция по эксплуатации многоквартирного дома», утвержденная приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 01.06. 2007 г. N 45.

довании, в том числе вторично, многократно и в разрезе большего спектра задач, которые они выполняют для создания безопасных, доступных и комфортных условий в объектах недвижимости с длительным периодом пребывания человека и формирования эффективной системы управления городским хозяйством [4].

Особое значение это обстоятельство приобретает в условиях реализации национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», благодаря которой было разработано и утверждено распоряжением Правительства РФ от 27.12.2021 г. № 3883-р «Стратегическое направление в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства РФ до 2030г.»

В этом многостраничном документе представлен комплексный подход к цифровой трансформации системы управления деятельностью в области строительства и эксплуатации ОКС, охватывающий все этапы его жизненного цикла, от проектирования до утилизации.

Цели и задачи цифровой трансформации отраслей строительства и жилищно-коммунального хозяйства (далее – ЖКХ), изложенные в этом документе, касаются, с одной стороны, адаптации системы городского управления к постоянным изменениям запросов общества (потребителей, бизнеса и др.), чтобы эти запросы прогнозировать и опережать, а с другой для того, чтобы обеспечить многоплановую, комплексную работу с ОКС, на основе преемственности, взаимопонимания и тесного взаимодействия специалистов и организаций различных направлений деятельности: проектировщиков; производителей строительных материалов, изделий и оборудования; строителей; финансовых, эксплуатирующих и ресурсоснабжающих организаций [5, 6].

В соответствии с ГОСТ Р 57311-2016 «Моделирование информационное в строительстве. Требования к эксплуатационной документации объекта завершенного строительства» установлен состав цифровой информационной модели, требования к организации процесса управления информацией, перечень эксплуатационной документации, которая должна входить в состав этой цифровой модели. Учитывая это, можно определить, что внедрение и применение ТИМ(BIM)-технологий как в строительстве, так и при организации мероприятий по эффективной эксплуатации не может осуществляться без ведения технической документации в электронном формате², в которой фиксируются основные результаты деятельности эксплуатантов на всех этапах жизненного цикла здания, строения, сооружения. В соответствии с ГОСТ Р 70108-2022 электронный документ – это документированная информация, представленная в электронной форме, то есть в виде, пригодном для восприятия человеком с использованием электронных вычислительных машин, а также для передачи по информационно-телекоммуникационным сетям или обработки в информационных системах.

Формирование и ведение исполнительной документации на этапе строительства объекта недвижимости, в том числе с применением технологий информационного моделирования, на данный момент достаточно подробно представлено в Градостроительном кодексе РФ, а также в отраслевых сводах правил, СНИПах, ГОСТах и приказах Минстроя России. Грамотное использование технической документации и корректное отражение изменений, возникающих в процессе эксплуатации объекта недвижимости, позволяет специалистам принимать правильные инженерные решения при его эксплуатации, в том числе в случае необходимости производства работ на ранее отремонтированных элементах и системах ЗСС.

Кроме того, в случае нарушения «штатной» работы конструкций и инженерных систем ЗСС в отдаленной перспективе, изменения отраженные в технической документации по результатам проведения регламентных работ на эксплуатационном этапе жизненного цикла, позволяют объективно подойти к определению причин отклонения в их работе.

² ГОСТ Р 70108-2022 «Документация исполнительная. Формирование и ведение в электронном виде»,

Рассматривая процесс эксплуатации объекта недвижимости, как совокупность действий персонала эксплуатационной организации, руководствующегося исполнительной и эксплуатационной документацией при выполнении работ, следует отметить, что при отсутствии нормативно установленных форм эксплуатационной документации, в которых первоначально фиксируются изменения возникающие в конструктивных элементах, инженерных системах и оборудования ЗСС в процессе эксплуатации, перенос этой информации в исполнительную документацию (чертежи деталей и узлов, схемы, разрезы, сечения и др.) сегодня ограничен, или существенно осложнен.

В тоже время, цифровая информационная модель ОКС позволяет обеспечить соблюдения требований синхронизации этой документации ввиду того, что перечень необходимых документов подлежащих передаче от застройщика эксплуатирующей организации будет «зашит» в программно-методическом комплексе цифровой информационной модели объекта капитального строительства [7].

Следует отметить, что если на первых этапах информационное моделирование в строительстве осуществлялось на базе систем автоматического проектирования и строительства (САПР), данных электронных библиотек и смет на строительство и решало локальные задачи, например: оптимизацию затрат на строительство, то цифровая информационная модель ЗСС (цифровой двойник), это уже многофункциональная платформа, позволяющая на основе инструментального мониторинга собрать «Большие данные» («BIG DATA») о реальном текущем состоянии объекта недвижимости, в процессе его строительства и эксплуатации. Таким образом, собранные цифровые данные позволяют перейти от «прогнозных (предиктивных) функций информационной модели к проактивным, когда машинный интеллект и дополненная реальность делают это стремительно (более оперативно) для каждого элемента ОКС и предлагают обоснованное решение проблемы с учётом всей полноты накопленных сведений, обеспечивая эффективное управление на всех этапах жизненного цикла [8, 9].

Внедрение технологии информационного моделирования, а также требования нормативных документов в строительстве (ГОСТ Р 21.101-2020) касающиеся необходимости дублирования на персональном компьютере и хранения на магнитных носителях документов длительного хранения, ввиду возможной утраты бумажных экземпляров технической документации, открывает возможности для появления интерактивной электронной технической документации (далее – ИЭТД), представляющей собой электронные документы, содержащие сведения о конструктивных элементах, инженерных системах и оборудовании объектов недвижимости, представленных в графическом и текстовом формате, которые «преподносят» сведения об объекте и его элементах в более доступной, наглядной форме и обеспечивает пользователя справочными материалами, «рассказывая» об элементах и системах ЗСС, принципах их работы и регламентных эксплуатации.

Интерактивная электронная инструкция по эксплуатации здания, строения, сооружения должна быть простой и наглядной при использовании настолько, чтобы работник (или обучающийся), обладающий необходимыми знаниями и навыками в области строительства и технической эксплуатации, мог найти необходимый участок производства работ, понять, из каких элементов и материалов состоит элемент инженерной коммуникации или конструкции ЗСС, определить их устройство и назначение, выполнить необходимые мероприятия и сделать отметку о проведенных работах в интерактивной модели здания, строения сооружения. Поэтому в ИЭИЭ должны быть представлены объемные модели, с четкой детализацией узла или конструктивного элемента здания, видеoinструкция или иллюстрированная технологическая карта, описывающая последовательность работ по техническому обслуживанию и ремонту инженерно-технического оборудования, инженерных систем или конструктивных элементов объекта (ЗСС).

Трехмерная интерактивная модель элемента должна давать эксплуатанту полное представление о месте положения узла в здании, способам доступа к узлу и производства

работ с ним, для того чтобы работник эксплуатирующей организации мог выполнить осмотр объекта обслуживания или ремонта как в реальных условиях, так и перед началом производства работ [10].

Такие технологически подвижные модели формируются методом чередования двух - или трехмерных наглядных изображений и представляют собой чередование чертежей или эскизов от исходных изображений до достижения результата для наглядной демонстрации, например, сложной процедуры ремонта узла, сочетающего в себе разборку, сборку, а также замену элементов конструкции здания, строения, сооружения. При необходимости такая модель должна обеспечивать возможность смены положения объекта для демонстрации скрытых или труднодоступных компонентов.

В видео (ролике, клипе), представляется реальное киноизображение, на котором представлена последовательность выполнения операций по обслуживанию или работу элементов (оборудования) ЗСС.

Такая интерактивная электронная документация, представляемая на современных средствах коммуникаций в доступной и наглядной форме в совокупности со справочной информацией, позволяет не только персоналу эксплуатационной организации, но и студентам профильным учреждениям образования в интерактивном формате [11]:

- ✓ осуществлять моделирование процессов технического обслуживания и текущего ремонта конструктивных элементов, инженерно-технического оборудования и инженерных систем ЗСС;

- ✓ давать возможность представления последовательности действий персонала при выполнении работ по эксплуатации в формате видеотрансляции и анимационном формате;

- ✓ определять технические решения необходимые персоналу при выполнении работ по эксплуатации, прогнозировать риски и их влияние на технологические процессы;

- ✓ обеспечивать возможность синхронно с выполнением работ внесения изменений в эксплуатационную документацию и документацию длительного хранения (при необходимости);

- ✓ обеспечивать осуществление мероприятий по поиску и устранению дефектов на элементах конструкции, инженерно-техническом оборудовании и инженерных системах ЗСС, предупреждению возникновения аварийных ситуаций и технических сбоев.

При этом глубину анализа при необходимости можно будет расширить, добавив дополнительные данные или отметить их недостаточность. В тоже время, возможность синхронизации форм и содержания исполнительной и эксплуатационной документации в цифровой информационной модели позволят установить единый подход к составу технической документации на стадии эксплуатации ЗСС, и будет способствовать формированию критериев оценки технического состояний объекта недвижимости.

Это позволит не только прогнозировать изменение технического состояния конструктивных элементов и инженерных систем объекта недвижимости, но и автоматизировать процессы принятия организационно – технических решения персоналом эксплуатационных организаций, обеспечивающие надёжность и безопасность их функционирования на эксплуатационном этапе его жизненного цикла.

Кроме того, использование в процессе строительства и эксплуатации ЗСС электронной документации обеспечивает возможность разработки и внедрения интерактивной электронной технической документации, неоспоримым достоинством которой является возможность виртуального отображения последовательности действий эксплуатирующего персонала при технической эксплуатации и ремонте инженерно-технического оборудования, инженерных систем, элементов конструкций ЗСС в виде трёхмерных моделей, анимационных роликов - технологических карт, видеоинструкций, что позволит минимизировать ошибки при их обслуживании и ремонте, а также в режиме реального времени производить отметки о произведенных работах.

Заключение.

Проведенные исследования показывают, что эксплуатационные документы не синхронизированы по форме и содержанию с исполнительной документацией, что затрудняет перенос и внесение в исполнительную документацию сведений об изменениях, которые возникают в процессе выполнения работ по их содержанию, обслуживанию и ремонту. Это приводит к некорректному отражению изменений в элементах и инженерных системах зданий, возникающих в процессе эксплуатации объекта недвижимости, что не позволяет принимать правильные инженерные решения при его эксплуатации, в том числе в случае необходимости производства работ на ранее отремонтированных элементах и инженерных системах.

Обоснована необходимость дополнения уровня проработки цифровых информационных моделей – «Эксплуатационная модель», СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели», в части касающейся исполнительной и эксплуатационной документации.

Подобная «прозрачность» и обоснованность выбора различных форм электронных документов предоставляет возможность эксплуатационным организациям шире использовать современные технологии по организации и выполнению работ по содержанию и ремонту зданий и инженерных систем, а визуализация и прогноз технического состояния объекта недвижимости становится доступным не только эксплуатирующей организации, но и собственнику объекта недвижимости и органам власти и контрольно - надзорным организациям

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Hannah, A.** A review and bibliometric analysis of utilizing building information modeling (BIM) on effective operation and maintenance (O&M) / Hannah A. Goretti¹, Peter Kaming // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 429. – Pp. 01002.
2. **Чернышов, Л.Н.** Особенности функционирования многоквартирных зданий на эксплуатационном этапе жизненного цикла / Л. Н. Чернышов, Т. А. Ивчик, А. Г. Калгушкин // Экономика строительства. – 2024. – № 9. – С. 343-347.
3. **Черепанов, Н. В.** Проблемы создания электронного архива конструкторской документации на основе бумажного архива / Н. В. Черепанов, С. П. Буслаев // Инновации и инвестиции. – № 10. – 2020. – С. 163 – 165.
4. **Рашев, В. С.** Анализ внедрения технологии информационного моделирования в Российских строительных компаниях по проектированию и строительству инженерных систем / В. С. Рашев, Н. С. Астафьева, Л. С. Рогожкин, В. Ю. Григорьев // Вестник Евразийской науки. – 2020. – № 3.
5. Application of BIM Implementation Process in the Operation and Maintenance of Information Management System in Building Facilities / I. M. Jibrin, M. A. Shehu, S. I. Abubakar, B. O. Akpobasa, F. S. Abdullah // Environmental Technology and Science Journal. – 2023 – Vol. 14(2). – С.42-50.
6. **Коротеев, Д. Д.** Перспективы применения цифровых двойников в строительной отрасли / Д. Д. Коротеев, А. А. Ким, А. О. Васютин // Вестник Евразийской науки. – 2024. – Том 16. – № 2. – С. 54- 50
7. Digital Twins in the Construction Industry: A Perspective of Practitioners and Building Authority / A. Ammar, H. Nassereddine, N. AbdulBaky, A. AbouKansour, J. Tannoury, H. Urban, C. Schranz // Front. Built Environ. – 2022. – No. 8. – Pp. 834671. – DOI:10.3389/fbuil.2022.834671
8. **Барабанова, Т. А.** Применение технологии «цифровых двойников» при эксплуатации зданий и сооружений / Т. А. Барабанова, В. В. Балалов, О. С. Блинова // Construction and Architecture. – 2022. – № 2(35). – С. 110–113, DOI 10.29039/2308-0191-2022-10-2-81-85.

9. **Шемонаева, А. А.** Исследование программного обеспечения 3D технологий в решении научно-технических задач в архитектуре / А. А. Шемонаева, А. А. Зеленина // 3D технологии в решении научно-практических задач. Всероссийская научно-практическая конференция. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» (Красноярск). – 2022. – С. 112-115.

10. **Чернышов, Л. Н.** Организационно-технические и методические предпосылки профессиональной трансформации в ЖКХ / Л. Н. Чернышов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 1(20). – С. 106-114.

11. **Куприков, Н. М.** Проблемы методологии информационно-технологического сопровождения технического обслуживания и ремонта / Н. М. Куприков, М. Ю. Куприков, Ю. В. Будкин // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2022. – Вып. 7. – С. 296-302.

Поступила в редакцию 7 мая 2025

ANALYSIS OF COMPATIBILITY OF FORMS AND CONTENTS OF DESIGN AND OPERATIONAL DOCUMENTATION OF REAL ESTATE ASSETS

L. N. Chernyshov, A. G. Kalgushkin

Leonid Nikolaevich Chernyshov, Professor, Dr. Sc. (Econom.), Professor of Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Department of Housing and Communal Services, Moscow, Russia; tel.: +7(495)779-1438; e-mail: leo.chern@yandex.ru;

Alexey Grigoryevich Kalgushkin, postgraduate student of Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Department of Housing and Communal Services, Moscow, Russia; tel.: +7(495)779-14-38; e-mail: aleksey@kalgushkin.ru

The safety and durability of commissioned buildings and structures depends on the quality, efficiency, and timeliness of work performed by the personnel of the operating organizations. In turn, the activities carried out for the maintenance and repair of structural elements, engineering systems and equipment of real estate assets are impossible without the use of technical documentation (drawings, diagrams, registers, instructions, passports, etc.) We analyzed regulatory legal documents in the field of construction regulating the organization and implementation of activities of design, construction, expert and operating organizations as well as executive authorities of the industry. The results of the study made it possible to formulate proposals on the need to make additions to existing regulations regarding the possibility of using executive and operational documentation at the operational stage of the life cycle of a capital construction facility. During the preparation of the article, we analyzed the compatibility of the forms and contents of the source and operational documentation transmitted by the developer to the operating organization. We as well considered the possibilities of this documentation synchronization as part of the introduction of digital information models of capital construction facilities. We describe here the advantages of using electronic documents at the operational stage of the life cycle of a capital construction facility, including the transformation of electronic documents into interactive electronic documents for more accessible forms of organizing routine maintenance by the personnel of the operating organization. In addition, we show the prospects for further use of interactive electronic documents in the educational process of educational institutions.

Keywords: building operation; technical, electronic and interactive documentation; digitalization; operational organization.

REFERENCES

1. **Hannah A., Goretti1, Peter Kaming.** *A review and bibliometric analysis of utilizing*

building information modeling (BIM) on effective operation and maintenance (O&M). E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 429. 01002.

2. **Chernyshov L. N., Ivchik T. A., Kalgushkin A. G.** *Features of the functioning of multi-apartment buildings at the operational stage of the life cycle*. Construction economy. 2024. No. 9. Pp. 343-347. (in Russian)

3. **Cherepanov N. V., Buslaev S. P.** *Problems of creating an electronic archive of design documentation based on a paper archive*. Innovation & Investment. 2020. No 10. Pp. 163-165. (in Russian)

4. **Rashev V. S., Astf'eva N. S., Rogoghkin L. S., Grigor'ev V. Y.** *Analysis of the implementation of information modeling technology in Russian construction companies for the design and construction of engineering systems* The Eurasian Scientific Journal. 2020. No. 3. (in Russian)

5. **Jibrin I. M., Shehu M. A., Abubakar S. I., Akpobasa B. O., Abdullah F. S** *Application of BIM Implementation Process in the Operation and Maintenance of Information Management System in Building Facilities*. Environmental Technology and Science Journal. 2023. Vol. 14(2). Pp. 42-50.

6. **Koroteev D. D., Kim A. A., Vasyutin A. O.** *Prospects for the use of digital twins in the construction industry*, The Eurasian Scientific Journal. 2024. Vol.16. No. 2. Pp. 54-60 (in Russian)

7. **Ammar A., Nassereddine H., AbdulBaky N., AbouKansour A., Tannoury J., Urban H., Schranz C.** *Digital Twins in the Construction Industry: A Perspective of Practitioners and Building Authority*. Front. Built Environ. 2022. No. 8. 834671. DOI:10.3389/fbuil.2022.834671.

8. **Barabanova T. A., Balalov V. V., Blinova O. S.** *The use of "digital twins" technology in the operation of buildings and structures*. Construction and Architecture. 2022. No. 2(35). Pp. 110-113. DOI 10.29039/2308-0191-2022-10-2-81-85. (in Russian)

9. **Shemonaeva A. A., Zelenina A. A.** *Research of 3D technology software in solving scientific and technical problems in architecture*. 3D technologies in solving scientific and practical problems, Krasnoyarsk: Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. 2022. Pp.112-115. (in Russian)

10. **Chernyshov L. N.** *Organizational, technical and methodological prerequisites for professional transformation in housing and communal services*. Housing and utilities infrastructure. 2022. No 1(20). Pp.106-114 (in Russian)

11. **Kuprikov N. M., Kuprikov M. Y., Budkin Y. V.** *Problems of methodology of information technology support of maintenance and repair*, Proceedings of Tula State University. 2022. Is.7. Pp. 296-302 (in Russian)

Received 1 May 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Чернышов, Л. Н. Анализ совместимости форм и содержания проектной и эксплуатационной документации объектов недвижимости / Л. Н. Чернышов, А. Г. Калгушкин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 2(33). – С. 21-30. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.002.

FOR CITATION:

Chernyshov L. N., Kalgushkin A. G. *Analysis of compatibility of forms and contents of design and operational documentation of real estate assets*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 21-30. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.002. (in Russian)

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФИБР НА ПРОЧНОСТЬ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА

Д. Е. Высоцкий, С. Д. Николенко, Е. Э. Бурак

Высоцкий Дмитрий Евгеньевич, магистрант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел: +7(908)131-12-13; e-mail: dom3stix@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: nikolenkoppb1@yandex.ru

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

Фибровое армирование становится все более распространенным. Стальные фибры применяются наиболее часто для комбинированного армирования изгибаемых железобетонных конструкций. Рассмотрены два основных фактора, влияющих на эффективность фибрового армирования: сцепление фибры с бетонной матрицей и распределение фибр в материале конструкции. Описана методика и приведены результаты экспериментальных исследований по выдергиванию фибр из бетонной матрицы. Построены графики, показывающие усилия сдвига и усилие выдергивания фибр с различными геометрическими характеристиками из мелкозернистого бетона. Дано теоретическое обоснование поведения фибр при выдергивании из бетонной матрицы.

Ключевые слова: сталефибробетон; металлические фибры; армирование бетона.

Железобетон продолжительное время является основным конструкционных материалом изгибаемых элементов. Однако со временем стали проявляться определенные недостатки железобетона. В частности, недостаточная трещиностойкость изгибаемых железобетонных конструкций. Для устранения этого недостатка стали применять фибровое армирование – армирование волокнами различных материалов [1]. В качестве армирующих волокон (фибр) наиболее широко применяются стальные, базальтовые, углеродные, стеклянные и синтетические. Каждый из этих волокон имеют свои определенные преимущества. Однако, стальные волокна (фибры) является наиболее распространенным [2...4]. Обычная длина стальных фибр находится в диапазоне от 6 до 64 мм, а диаметр стальных фибр находится в диапазоне от 0,5 до 1,0 мм.

Для производства волокон обычно применяют углеродистые или легированные (нержавеющие) стали; последние используют преимущественно для коррозионностойких волокон, в огнеупорных материалах и морских сооружениях. Стальные волокна могут изготавливаться различными способами в зависимости от требуемой геометрии. По форме стальные фибры могут быть разного вида (рис. 1).

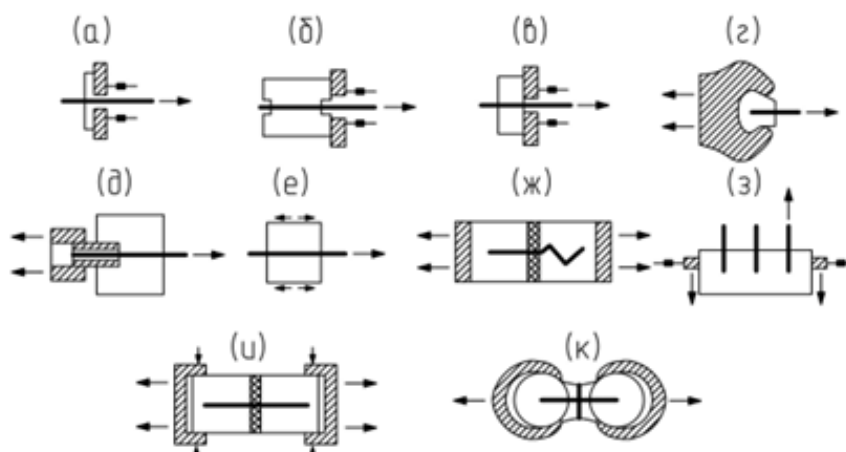
Проведенные исследования показывают, что основным фактором, влияющим на эффективность фибрового армирования строительных конструкций, является сумма усилий, которые фибры воспринимают при внешних воздействиях [5,6]. Способность фибры воспринимать напряжения при воздействии внешних нагрузок определяется сцеплением. По своему действию сцепление можно разделить на адгезионное и механическое.

Для металлических фибр определяющим прочностью является механическое сцепление, обусловленное непрямолинейной геометрической формой фибры (рис. 1). Именно механическое сцепление в значительно большей степени определяет эффективность дисперсного армирования. Для оценки сопротивления выдергиванию фибр из цементной матрицы разработаны различные методы.



Рис. 1. Примерные формы стальных фибр

Косвенные методы, когда свойства композита определяются экспериментально, а прочность сцепления вычисляется теоретически. Прямые методы, когда измеряется нагрузка при выдергивании одиночной фибры (или группы параллельных волокон) с построением кривой «нагрузка – перемещение». На рис. 2 представлены схемы типовых испытательных установок для таких испытаний.

Рис. 2. Схемы типовых испытательных установок по Грею [7]:
а-з - одностороннее выдергивание; и, к - двустороннее выдергивание

Для практического применения была выбрана схема одностороннего выдергивания фибр типа (рис. 2, з). В проведённых исследованиях в качестве дисперсной арматуры использовались фибры металлические типа Wirand, волнистая и анкерная с геометрическими характеристиками, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Обозначение фибр	Характеристика фибр		
	Длина, мм	Диаметр, мм	Отношение длины к диаметру
F1	30	0,6	50
FS4N	33	0,6	55
FS7	33	0,55	60
FS1	37	0,55	67,3
FF3	50	0,75	66,6
FF1	50	1,0	50
-	40	0,65	61,5

Использованные фибры анкерные, за исключением F1 – волнистой (рис. 3).



Рис. 3. Вид применяемых в эксперименте стальных фибр

Для испытания на выдергивание фибры из тела бетона, были изготовлены кубы из бетона 100x100x100 мм с заделанными в них фибрами на глубину 1, 2 и 3 см (если позволяла длина фибры). В каждой серии использовалось по 6 фибр заделанных в бетон. Из этого же состава бетона были изготовлены кубы для определения прочности матрицы на сжатие.

Испытания проводились с помощью прибора ПОС МГ-4, определяющего прочность на отрыв со скалыванием, позволяющим определять усилие сдвига фибры и усилие её выдергивания из бетона-матрицы. Для прибора был изготовлен специальный захват для фибр. Скорость нагружения зажатого конца фибры при испытании на сдвиг и выдёргивание составляла $0,35 \pm 0,1$ МПа/с. Результаты испытаний представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний фибр на выдергивание

Размер фибры и ее характеристики	Глубина заделки в бетон, см	Среднее значение усилия сдвига фибры в теле бетона, кН	Среднее значение усилия выдергивания, кН
33x0,6 мм. l/d=55 R _{сж.бет.} =15,8 МПа	1,0	0,8	1,9
	2,0	0,83	1,97
30x0,6 мм. l/d=50 (волнистая) R _{сж.бет.} =16,18 МПа	1,0	0,77	2,15
	2,0	1,05	2,17
40x0,65 мм. l/d=61,5 R _{сж.бет.} =22,5 МПа	1,0	0,85	1,55
	2,0	0,85	2,02
	3,0	0,82	2,08
33x0,55 мм. l/d=60 R _{сж.бет.} =21,84 МПа	1,0	0,98	1,2
	2,0	0,98	1,13
50x0,75 мм. l/d=66,6 R _{сж.бет.} =26,0 МПа	1,0	0,97	1,22
	2,0	1,07	1,27
	3,0	0,98	1,23
50x1,0 мм. l/d=50 R _{сж.бет.} =28,0 МПа	1,0	0,97	1,37
	2,0	0,9	1,32
	3,0	1,05	1,13
37x0,55 мм. l/d=67,3 R _{сж.бет.} =17,04 МПа	1,0	0,93	1,17
	2,0	1,02	1,25
	3,0	1,03	1,28

На основании табличных значений построены графики усилий сдвига и выдергивания фибр при различной глубине заделки фибр в бетон (рис. 4, 5).

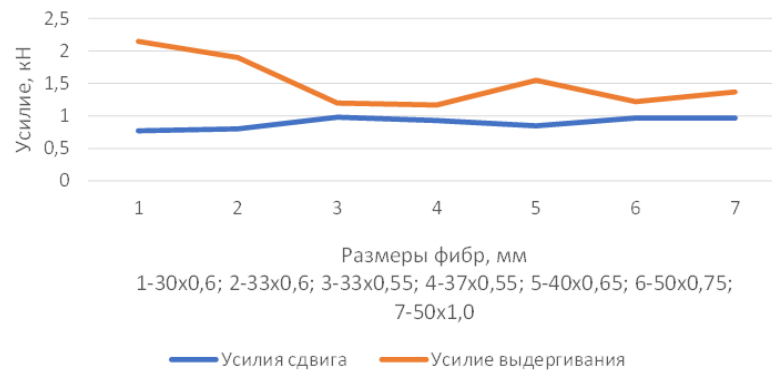


Рис. 4. График усилий сдвига и выдергивания фибр при глубине заделки 1 см

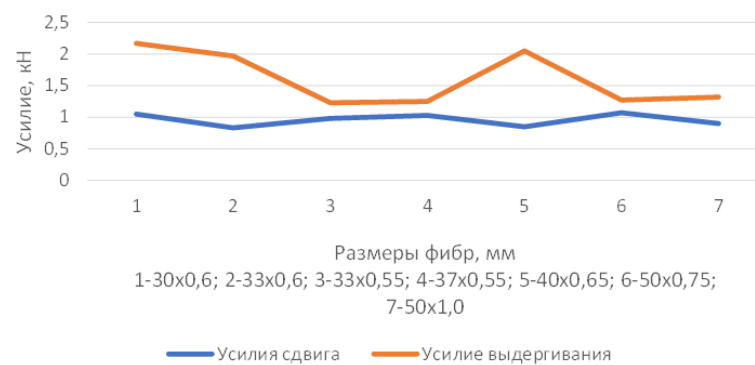


Рис. 5. График усилий сдвига и выдергивания фибр при глубине заделки 2 см

В дальнейшем увеличение длины заделки фибр в бетон не приводит к существенно-му увеличению усилий сдвига и выдергивания. Это можно объяснить тем, что поверхность фибры гладкая и силы по поверхности фибры незначительны, а основная часть усилия воспринимается загнутой частью фибры.

Хорошо известно, что напряжение распределяется по длине фибры равномерно, от концов к середине. При этом существует такая критическая длина фибры (l_c), при увеличении которой ($l > l_c$) в ней возникают напряжения, превышающие ее прочность и приводящие к разрыву, а при уменьшении ($l < l_c$) напряжения в фибре не достигают ее прочности, и она вытягивается из матрицы при разрушении композита.

Нижеприведенные формулы описывают работу, совершаемую при выдергивании волокон из матрицы – то есть энергию, поглощаемую композитом за счёт трения между волокном и матрицей во время разрушения. Это важный параметр, характеризующий вязкость разрушения фибробетона.

$$Wp = \frac{1}{24} \cdot \pi \cdot d \cdot \tau_{fu} \cdot l^2 \quad (\text{при } l \ll l_c), \quad (1)$$

где Wp – работа на выдергивание одного волокна, Дж (d – диаметр волокна, мм; τ_{fu} – предельное касательное напряжение трения между волокном и матрицей (прочность связи по трению), Па; l – длина волокна, м; l_c – критическая длина волокна, м;

Критическая длина волокна определяется по формуле

$$l_c = \frac{\sigma_f \cdot d}{2 \cdot \tau_{fu}}, \quad (2)$$

где σ_f – прочность волокна на растяжение – предельное напряжение, которое может выдержать волокно до разрушения, МПа; d – диаметр волокна, м; τ_{fu} – предельное касательное напряжение сцепления (трения) между волокном и матрицей, Па;

Формула (1) используется, когда длина волокна намного меньше критической длины, то есть $l \ll l_c$. Такие короткие волокна не могут сломаться под нагрузкой – они полностью выдергиваются из матрицы.

Чем длиннее волокно (до критического значения), тем больше энергии оно может поглотить при выдергивании. Работа растёт пропорционально квадрату длины волокна (l^2):

$$Wp = \frac{l_c}{l} \cdot \frac{1}{24} \cdot \pi \cdot d \cdot \tau_{fu} \cdot l_c^2, \quad (3)$$

где Wp , d , τ_{fu} ; l , l_c – см. обозначения в (1).

При проведении испытаний установлено:

- ✓ волокна длиннее критической длины ($l \gg l_c$) не все выдергиваются – некоторые разрушаются раньше;
- ✓ лишь часть волокон ($\frac{l_c}{l}$) участвует в выдергивании;
- ✓ при увеличении длины волокна сверх критической ($l > l_c$) большая его часть уже не выдергивается, а ломается. Поэтому работа по выдергиванию снижается обратно пропорционально длине волокна ($\frac{1}{l}$).

Как отмечалось ранее, сцепление фибры с бетоном происходит за счет адгезии, трения и механического зацепления поверхностей контакта системы «волокно-матрица». Рассмотрим влияние этих трех факторов на работу растянутого сталефибробетона. На первом этапе восприятия фиброй нагрузки, приложенной к сталефибробетону, передача усилий от бетона к фибре происходит в основном за счет адгезии. Это так называемое неподвижное упругое сцепление.

На втором этапе дополнительно к силам адгезии в работу вступают силы смятия и среза. При этом взаимному перемещению фибры с бетоном препятствуют форма фибры и неровности на его поверхности. Данный этап характерен для фибр с развитой боковой поверхностью. У гладких фибр этот этап работы волокна менее выражен. Третий этап – этап пластического сцепления, характеризуется появлением на границе раздела «бетон-фибра» сил трения, препятствующих выдергиванию фибры из бетона. Этот этап продолжается до тех пор, пока максимальные напряжения сцепления не достигнут конца фибры. После этого увеличение выдергивающей силы прекращается, и фибра начинает вытягиваться из бетона. При этом за счет постепенного уменьшения длины заделки фибры происходит уменьшение силы ее выдергивания.

Нарушение сцепления фибры с бетоном происходит в граничной (контактной) зоне цементного камня. Размер контактных зон вблизи дисперсной арматуры составляет в среднем 300 мкм, в то время как вблизи поверхности заполнителя – 50...60 мкм. Увеличение контактной зоны вокруг фибры объясняется ее малым диаметром и наличием вокруг нее молекулярного силового поля, способствующих объединению контактных зон цементного камня, находящихся вблизи поверхности заполнителя [7]. Так как в эксперименте фибра применялась высокопрочная, а матрица не превышала по прочности 30 МПа все фибры выдергивались из матрицы.

Вторым фактором, оказывающим большое влияние на эффективность фибрового армирования, является распределение фибр в бетоне конструкции. Как в практической деятельности, так и в научных исследованиях часто возникает необходимость определения фактического содержания фибр и характера их распределения в фибробетонных конструкциях. К сожалению, для затвердевшего бетона в настоящее время не существует стандартизированных методов определения распределения фибр, регламентированных нормативными документами. В рамках операционного контроля качества на производстве возможно определение среднего содержания фибр в свежеприготовленной смеси. Однако следует учитывать, что распределение фибр в затвердевшем материале редко бывает статистически равномерным. В результате технологических особенностей приготовления и уплотнения фиброармированной смеси и геометрических ограничений, накладываемых опалубочной системой, в большинстве случаев наблюдается в основном случайная ориентация фибр, что существенно влияет на анизотропию механических свойств фибробето-

на. Равномерности распределения фибр пытаются добиться технологическими приемами, в частности применением прогрессивных средств перемешивания при приготовлении фиброармированной смеси [8].

Стальные волокна значительно повышают вязкость разрушения бетонов. Изначально их использовали преимущественно для контроля трещинообразования [9]. В настоящее время, хотя стальные волокна по-прежнему широко применяются для этих целей, их всё чаще используют в конструктивных элементах – либо для замены второстепенное армирование или традиционной стальной арматуры, либо в дополнение к ней [10...12]. Увеличение вязкости может предотвратить или минимизировать растрескивание, вызванное изменениями температуры или влажности, а также повысить сопротивление динамическим нагрузкам (например, ударным, взрывным или сейсмическим).

Заключение.

На основе экспериментальных испытаний определены зависимости усилий сдвига и выдергивания фибр с различными геометрическими характеристиками, при различной глубине заделки фибр в бетон (от 1 до 3 см). Установлено, что дальнейшее увеличение длины заделки фибр в бетон не приводит к существенному увеличению усилий сдвига и выдергивания.

Проведено теоретическое обоснование поведения фибр при выдергивании из бетонной матрицы. Основными факторами, влияющими на эффективность фибрового армирования, являются сцепление фибры с бетонной матрицей и распределение фибр в материале конструкции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Клюев, С. В.** Фибробетон для строительной индустрии / С. В. Клюев, А. В. Клюев, Н. И. Ватин // Инженерно-строительный журнал. – 2018. – № 8(84). – С. 41-47. – DOI 10.18720/MCE.84.4.
2. **Thomas, J.** Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced Concrete / J. Thomas, A. Ramaswamy // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2007. – Vol. 19. – Is. 5. – Pp. 385-392.
3. **Перцев, В. Т.** Повышение качества бетона путем применения металлических фибр / В. Т. Перцев, С. Д. Николенко, С. А. Сазонова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 3. – С. 480-484.
4. Effects of steel fiber addition on mechanical properties of concrete and RC beams / F. Altun et al. // Construction and Building Materials. – 2027. – Vol. 21. – Pp. 654-661.
5. Определение прочности сцепления армирующих волокон с матрицей в фибробетоне / Ю. В. Пухаренко, В. И. Морозов, Д. А. Пантелеев, М. И. Жаворонков // Строительные материалы. – 2020. – № 3. – С. 39-43. – DOI 10.31659/0585-430X-2020-779-3-39-43.
6. **Пухаренко, Ю. В.** Влияние вида фибры и состава матрицы на их сцепление в фибробетоне / Ю. В. Пухаренко, Д. А. Пантелеев, М. И. Жаворонков // Вестник СибАДИ. – 2022. – Т. 19. – № 3(85). – С. 436-445. – DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-3-436-445
7. **Arnon Bentur, Sidney Mindess.** Fibre Reinforced Cementitious Composites. Modern Concrete Technology. 2nd Edition / Arnon Bentur, Sidney Mindess. – New York: CRC Press. – 2006. – 622 p.
8. Получение высококачественного фибробетона с использованием противоточного пневмосмесителя / В. А. Уваров, С. В. Клюев, Т. Н. Орехова, А. В. Клюев, А. В. Дураченко // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 8. – С. 54-56.
9. **Tiberti, G.** Cracking behavior in reinforced concrete members with steel fibers: a comprehensive experimental study / G. Tiberti, F. Minelli, G. Plizzari // Cement and Concrete Research. – 2015. – Vol. – 68. – Pp. 24–34. – DOI 10.1016/j.cemconres.2014.10.011.

10. **Dupont, D.** Bending capacity of steel fibre reinforced concrete (SFRC) beams / D. Dupont, L. Vandewalle // Proceedings of the International congress on challenges of concrete construction, Dundee. – 2002. – Pp. 81-90.

11. **Nikolenko, S. D.** Behavior of beam with fiber reinforcement under alternating loads / S. D. Nikolenko, D. A. Kazakov, L. V. Bolotskikh // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020) 6th-9th October 2020, Russky Island, Russia. – 2021. – Pp. 022067.

12. **Николенко, С. Д.** Экспериментальное исследование работы фибробетонных конструкций при знакопеременном малоцикловом нагружении / С. Д. Николенко, Г. Н. Ставров // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. – 1986. – № 1. – С. 18-22.

Поступила в редакцию 13 мая 2025

INFLUENCE OF FIBER CHARACTERISTICS ON THE STRENGTH OF STEEL FIBER-REINFORCED CONCRETE

D. E. Vysotsky, S. D. Nikolenko, E. E. Burak

Dmitry Evgenyevich Vysotsky, master's student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(908)131-12-13; e-mail: dom3stix@yandex.ru

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

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

Fibre reinforcement is becoming increasingly widespread. Steel fibres are most commonly used for combined reinforcement of flexural reinforced concrete structures. In the article we consider two main factors affecting the efficiency of fibre reinforcement: the bond between the fibre and the concrete matrix, and the distribution of fibres within the structural material. Here we present a methodology and results of experimental studies on fibre pull-out from the concrete matrix. We demonstrate graphs showing shear forces and pull-out forces of fibres from fine-grained concrete with different geometric characteristics. We theoretically explain fibre behaviour during pull-out from the concrete matrix.

Keywords: steel fiber concrete; metal fibers; concrete reinforcement.

REFERENCES

1. **Klyuev S. V., Klyuev A. V., Vatin N. I.** *Fiber Concrete for the Construction Industry*. Engineering and Construction Journal. 2018. No. 8(84). Pp. 41-47. doi.org/10.18720/MCE.84.4 (in Russian)

2. **Thomas J., & Ramaswamy A.** *Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced Concrete*. Journal of Materials in Civil Engineering. 2007. Vol. 19. Is. 5. Pp. 385-392.

3. **Pevtsev V. T., Nikolenko S. D. Sazonova S. A.** *Improving Quality of Concrete by Using Metal Fibers*. News of Tula State University. Technical Sciences. 2024. No. 3. Pp. 480-484. (in Russian)

4. **Altun F. et al.** *Effects of Steel Fiber Addition on Mechanical Properties of Concrete and RC Beams*. Construction and Building Materials. 2007. Vol. 21. Pp. 654-661.

5. **Pukharens Y. V., Morozov V. I., Panteleev D. A., Zhavoronkov M. I.** *Determining the Bond Strength of Reinforcing Fibers with the Matrix in Fiber Concrete*. Building Materials. 2020. No. 3. Pp. 39-43. doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-39-43 (in Russian)
6. **Pukharens Y. V., Panteleev D. A., Zhavoronkov M. I.** *Effect of Fiber Type and Matrix Composition on Their Bonding in Fiber Concrete*. SibADI Bulletin. 2022. Vol. 19. No. 3(85). Pp. 436-445. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-436-445 (in Russian)
7. **Bentur A., Mindess S.** *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. Modern Concrete Technology. 2nd ed. New York. CRC Press. 2006. 622 p.
8. **Uvarov V. A., Klyuev S. V., Orekhova T. N., Klyuev A. V., Durachenko A. V.** *Production of High-Quality Fiber Concrete Using a Counterflow Pneumatic Mixer*. Industrial and civil construction. 2014. No. 8. Pp. 54-56. (in Russian)
9. **Tiberti G., Minelli F., Plizzari G.** *Cracking Behavior in Reinforced Concrete Members with Steel Fibers: A Comprehensive Experimental Study*. Cement and Concrete Research. 2015. Vol. 68. Pp. 24-34. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.10.011
10. **Dupont D., Vandewalle L.** *Bending Capacity of Steel Fibre Reinforced Concrete (SFRC) Beams*. In: Proceedings of the International Congress on Challenges of Concrete Construction. Dundee. 2002. Pp. 81-90.
11. **Nikolenko S. D., Kazakov D. A., Bolotskikh L. V.** *Behavior of Beam with Fiber Reinforcement under Alternating Loads*. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020). 6th-9th October 2020. Russky Island. Russia. 2021. Pp. 022067.
12. **Nikolenko S. D., Stavrov G. N.** *Experimental Study of the Performance of Fiber Concrete Structures Under Alternating Low-Cycle Loading*. News of higher educational institutions. Construction and architecture. 1986. No. 1. Pp. 18-22. (in Russian)

Received 7 May 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Высоцкий, Д. Е. Влияние характеристик фибр на прочность сталефибробетона / Д. Е. Высоцкий, С. Д. Николенко, Е. Э. Бурак // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 2(33). – С. 31-38. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.003.

FOR CITATION:

Vysotsky D. E., Nikolenko S. D., Burak E. E. *Influence of fiber characteristics on the strength of steel fiber-reinforced concrete*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 31-38. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.003. (in Russian)

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES

DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.004

УДК 621.643: 621.318

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА НА НЕФТЕГАЗОВЫХ КОММУНИКАЦИЯХ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Г. С. Сериков, И. А. Серикова, О. С. Жилкин, А. Р. Головня

Сериков Георгий Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, 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

Жилкин Олег Сергеевич, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(952)955-32-96; e-mail: oleg02486@gmail.com

Головня Антон Романович, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(910)242-69-69; e-mail: golovnya.tosha@mai.ru

Рассмотрена возможность использования систем индукционного нагрева в нефтяных системах, располагающихся в широтах Крайнего Севера. Проработаны теоретические аспекты повышения эффективности нагрева магистралей нефтегазопроводов индукционным методом с помощью скин-системы. В качестве одного из возможных вариантов повышения эффективности работы данной системы было рассмотрено физическое моделирование процессов распределения магнитных полей в скин-системе. Для реализации физического моделирования был предложен испытательный генератор импульсов специальной формы для исследования системы индукционного нагрева. Определены основные параметры источника мощности, разработана принципиальная схема магнитно-импульсной системы.

Ключевые слова: скин-система; нефтяные трубопроводы; индукционный нагрев; импульсный источник мощности; магнитно-импульсная система.

Актуальные проблемы нефтяных трубопроводов, пути их решения

Крайний Север и Арктика являются, безусловно, очень значимыми регионами нашей страны. На ее территории располагается почти весь минерально-ресурсный запас России. А именно 90 % запасов природного газа, 75 % нефти, 80 % алмазов и т.д. Нефть дает 50...60 % валютных поступлений в экономику державы. Поэтому очень важно осуществлять бесперебойную подачу природных ресурсов из данных регионов.

Однако, условия крайнего севера и Арктики являются очень суровыми, что в свою очередь ведет созданию актуальных проблем, которые необходимо своевременно решать. К таким проблемам относятся:

✓ неустойчивость вечномёрзлых грунтов к перепаду температур, это характеризуется постоянными деформациями трубопровода, вследствие изменения уровня грунта. Для решения данной проблемы прокладка трубопровода осуществляется на ограниченной минимальной площади, а также применяются специальные способы прокладки. Например, использование свай.

✓ сложность ликвидации последствий утечек, аварий, по причине труднодоступности некоторых регионов. Для решения данной проблемы специалисты детально прорабатывают все технологические этапы и операции, используют передовые разработки с целью увеличения долговечности используемого трубопровода и арматуры. Также в последнее время активно применяют новейшие методы поэтапного контроля [1].

✓ повышенный риск разрыва трубопровода, вследствие образования пробок из-за низких температур. Также низкая температура способствует увеличению вязкости нефтепродукта, что в свою очередь увеличивает нагрузку на насосы и, следовательно, уменьшает срок их эксплуатации и увеличивает затраты энергии. Для решения данной проблемы предлагается использовать дополнительный прогрев магистралей трубопровода. Существует несколько способов термостабилизации оборудования [2].

Отметим, что важным вопросом является вопрос перекачки и транспортировки нефти. Для снижения затрат на перекачку нефти, необходимо её подогревать. Это можно делать как непосредственно через теплообменники, так и в магистральных трубопроводах, применяя предлагаемую систему индукционного нагрева. Для Крайнего Севера это экономически обоснованное и принципиально новое решение поставленной задачи.

Целью настоящей работы является получение расчетных соотношений в системе индукционного нагрева за счёт применения физического моделирования со стендом генератором импульсов заданной формы для анализа характеристик электромагнитных процессов в системе индукционного нагрева конструктивных элементов магистральных нефтегазовых трубопроводов в условиях Крайнего Севера.

Этот вопрос возникает в технике сильных магнитных полей и больших токов, где необходима достаточно точная настройка аппаратуры на заданные рабочие частоты. В основу функционирования предлагаемого генератора импульсов специальной формы для исследования системы индукционного нагрева положен принцип непосредственного возбуждения периодическими сериями осциллирующих или прямоугольных униполярных импульсов напряжения с частотой следования, меньшей собственной частоты резонансного активно-реактивного контура.

Необходимым условием проведения качественных измерений является строгая настройка на заданные частоты активно-реактивного контура. Это даёт возможность выполнять задачу формирования квазигармонического напряжения и тока. Возбуждение резонансного активно-реактивного контура осуществляется с зафиксированной собственной частотой. Практический интерес использования последовательного контура в режиме резонанса напряжений выражается в производстве устройств индукционного нагрева и для питания высоким напряжением высокоомных нагрузок [3, 4]. Важность решаемой задачи обусловлена практическими проблемами в разработках электротехнических устройств подогрева магистральных трубопроводов индукционным нагревом, где эффективность применения соответствующих элементных частей индукционной системы позволяет снизить расходы электрической энергии на перекачку и транспортировку нефти в условиях Крайнего Севера.

В настоящее время системы индукционного нагрева магистральных трубопроводов имеет следующую конструкцию: стальная трубка проходит вдоль основной несущей трубы с выраженными ферромагнитными свойствами. Внутри неё проходит алюминиевый или медный проводник. Скин-система питается переменным напряжением. Это позволяет проводить нагрев трубопроводов индукционным способом. Протяжённость такой системы может составлять до 30 км. Скин-кабель по всем показателям надёжности и безопасности превосходит все другие описанные системы отопления. Он считается оптимальным способом для дополнительного обогрева трубопроводов в условиях Крайнего Севера.

Стоит сказать, что нефтепроводы со скин-системой давно уже пользуются популярностью у таких нефтяных гигантов, как «Газпром», «Лукойл» и т.д.

Теоретические основы и математические модели, полученные при теоретических исследованиях распределения плотностей токов и напряжённостей магнитного поля в индукторных системах требуют проверки на адекватность при помощи физического моделирования. Определение объёмных распределений токов и магнитных полей в сложных системах реально осуществить экспериментальным путем [5].

Для возбуждения картины объёмной картины исследуемых электродинамических систем применяют генераторы импульсов специальной формы для исследования системы индукционного нагрева. В данном случае используются импульсы униполярной формы либо затухающая синусоида.

В основу принципа действия упомянутых устройств положен последовательный заряд, а потом разряд ёмкостного накопителя на индуктивную нагрузку [6].

Вместе с достоинствами выше перечисленных устройств следует отметить следующие особенности, такие как сложность регулировки частоты разрядного тока, а также узкий частотный диапазон, что существенно ограничивает возможности применяемых устройств с целью увеличения точности измерений и производительности необходима разработка измерительного комплекса, который даёт возможность определять автоматически топологию магнитного поля в индукторной системе, а также управление работой источника мощности и позиционирующего устройства с установленным на нём индукционным преобразователем под управлением персонального компьютера.

Рассматриваемый источник мощности позволяет имитировать реальные электромагнитные процессы в индукторных системах. Это даёт возможность проводить измерения в диапазоне частот импульсного тока, характерного для индукционного нагрева.

Генератор импульсов специальной формы для исследования системы индукционного нагрева представляет собой магнитно-импульсную систему, позволяющую продуцировать серию разрядных импульсов в режиме многократного повторения [7]. Форма разряда формируется на экране осциллографа в устойчивое стационарное изображение. Это даёт возможность вести работу с источником мощности без применения измерительного компьютерного комплекса.

Схема работы предлагаемого устройства магнитно-импульсной системы индукционного нагрева конструктивных элементов магистрального нефтегазопровода в условиях Крайнего Севера представлена на рис. 1.

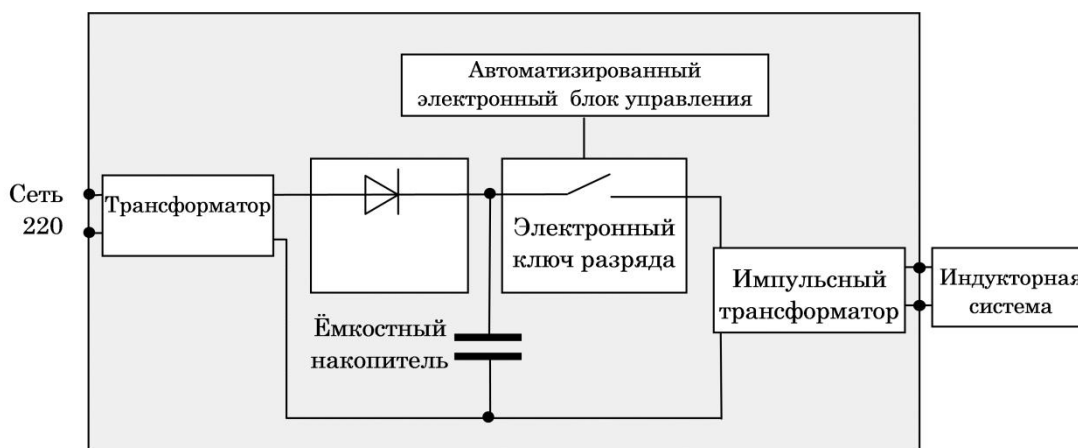


Рис. 1. Принципиальная схема магнитно-импульсной системы

Принцип работы источника мощности состоит в периодическом заряде емкостного накопителя энергии и последующем разряде его на индуктивную нагрузку.

Рассмотрим более подробно процессы, происходящие при работе системы.

При старте в момент появления «положительного» четверть периода ёмкостный накопитель заряжается. Когда напряжение на конденсаторах достигает заданного значения,

выпрямитель VD1 разрывает зарядный контур. Разряд на нагрузку синхронизирован с отрицательным полупериодом. Запасённая энергия конденсаторов трансформируется импульсным трансформатором и подаётся на индуктор.

Количество циклов «заряд – разряд» может быть заранее заданным в течении определённого временного интервала.

Система автоматики блока управления синхронизирует работу электронного коммутатора разряда с началом отрицательного полупериода напряжения сети. В процессе заряда ёмкости C1, VD1 открыт, а K1 закрыт. Когда ёмкость C1 разряжается, VD1 закрывается, а K1 замыкает разрядную цепь.

Разряд ёмкости происходит на повышающий по току импульсный трансформатор. Этот трансформатор позволяет увеличить амплитуду разрядного тока и позволяет варьировать параметры серии импульсов.

Использование импульсного трансформатора отличает описываемую разработку от известных аналогов, в которых варьирование частоты разрядного тока происходит включением различного числа конденсаторов ёмкостной батареи.

Регулировка временных параметров каждого из импульсов достигается варьированием числа витков первичной обмотки импульсного трансформатора [8]. Вторичная обмотка импульсного трансформатора является электрическим выходом модельного источника мощности.

Количественные оценки основных характеристик экспериментального стенда дополняют описания его работы. Для проведения качественных измерений требуется достаточный уровень тока на входе измерительной системы. Произведём предварительные расчеты параметров элементов стенда и количественную иллюстрацию характеристик и возможностей выполненной разработки.

Уровень устойчивого измерения сигнала измерительной системой составляет 1 мВ. Определим требования к амплитудным параметрам стенда.

Измерение напряжения поля производится с помощью индуктивных датчиков, и их коэффициент преобразования может изменяться. Уровни сигнала при измерении индуцированного тока будут принимать наименьшие значения, поскольку сопротивление перемычек в измерительной пластине мало и строго задано ($R_{\text{пер}} = 0,00184 \text{ Ом}$). Поэтому примем этот метод измерения как базовый для расчетов.

Допустим уровень тока, приводимого в металле измерительной пластины по отношению к току индуктора 1:10. Для построения качественных картин распределения тока в металле измерительной пластины соотношение максимума тока к минимуму должно составлять не менее 1:10.

Таким образом, ток в индукторе $I_{\text{инд}}$, А, равен $I_{\text{инд}} = (10 \cdot U_{\text{инд}}) / R_{\text{эл}}$, где $U_{\text{инд}}$ – наведенное напряжение на элементе образца, В; $R_{\text{эл}}$ – внутреннее сопротивление элемента на образце, Ом.

Для возбуждения уровня сигнала в $U_{\text{инд}} = 1 \text{ мВ}$ необходимо через индуктор пропускать ток с амплитудой 54 А.

Рассчитаем минимальные параметры энергетического блока, обеспечивающие такой режим. Очевидно, что наименьшие амплитуды тока будут в низкочастотном режиме работы. Характерная частота разряда $f = 3 \text{ кГц}$.

Индуктивность разрядного контура L_k , Гн, определим по формуле:

$$L_k = \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{C}} \right)^2, \quad (1)$$

где f – частота разряда, Гц; C – ёмкость контура, мкФ.

$$L_k = \left(\frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 3000 \cdot \sqrt{29 \cdot 10^{-6}}} \right)^2 = 97 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}.$$

Относительный декремент затухания будет равен:

$$\delta = \frac{R_k}{4 \cdot L_k \cdot \pi \cdot f}, \quad (2)$$

$$\delta = \frac{R_k}{4 \cdot L_k \cdot \pi \cdot f} = 7,4 \cdot 10^{-3}.$$

Амплитуда тока в импульсе на выходе энергетического блока при частоте разряда 3 кГц и напряжении заряда конденсаторов $U = 450$ В составляет, А:

$$J_{M1} = U \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_k \cdot e^{-\delta \cdot \frac{\pi}{2}}, \quad (3)$$

$$J_{M1} = 450 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 29 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-7,4 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\pi}{2}} \approx 162 \text{ А}.$$

Принимаем коэффициент усиления тока согласующего устройства $k=5$, тогда ток в индукторе составит 810 А.

Допустим, что индуцированный ток в 10 раз меньше тока в индукторе. Тогда максимальное напряжение, возникающее в измерительной системе, будет составлять, В:

$$U_{изм} = I_{инд} \cdot R_{вн}, \quad (4)$$

$$U_{изм} = 810 \cdot 0,00184 = 1,49 \text{ В}.$$

Для построения качественной картины распределения индуцированного тока минимальная амплитуда сигнала должна быть в 10 раз меньше максимального значения амплитуды тока в разрядном контуре модельного источника мощности. Для этого необходимо определить предельные энергетические параметры разрядного контура, такие как: максимальный разрядный ток, протекающий через электронный ключ; предельное нарастание разрядного тока и суммарную потребляемую мощность модельным генератором.

В этом случае необходимо определить собственную частоту в разрядном контуре источника мощности. Значения, характерные для активного сопротивления R_a и собственной индуктивности L_1 энергетического блока могут лежать в диапазоне $200 \dots 400 \cdot 10^{-9}$ Гн.

Примем активное сопротивление $R_a = 0,027$ Ом и $L_1 = 300 \cdot 10^{-9}$ Гн.

В таком случае частота в разряде, кГц, определяется следующим образом:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \cdot C}}, \quad (5)$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{300 \cdot 10^{-9} \cdot 29 \cdot 10^{-6}}} \approx 54 \text{ кГц}.$$

Рассчитаем относительный декремент затухания:

$$\delta = \frac{R_a}{4 \cdot L_1 \cdot \pi \cdot f_1}, \quad (6)$$

$$\delta = \frac{0,027}{4 \cdot 300 \cdot 10^{-9} \cdot \pi \cdot 50} = 0,133.$$

Амплитуда разрядного тока в импульсе при частоте разряда, А:

$$54 \cdot J_{M1} = U \cdot 2\pi \cdot f \cdot C \cdot e^{-\delta \cdot \frac{\pi}{2}}, \quad (7)$$

$$54 \cdot J_{M1} = 450 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 29 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-0,133 \cdot \frac{\pi}{2}} \approx 3592 \text{ А}.$$

На рис. 2 представлена расчетная временная зависимость разрядного тока и прямая нарастания тока в начальный момент разряда. Ориентировочное граничное нарастание тока на разрядном ключе 1100 А/мкс. Следовательно, в случае генерации разрядов на коротком электронном ключе будет находиться в предельном режиме работы с параметрами предельного нарастания тока.

Максимальное потребление энергии модельного источника мощности за 1 с можно оценить по следующей формуле

$$W = \frac{C_k \cdot U_k^2}{2} \cdot 50, \quad (8)$$

где U_k – напряжение заряда конденсаторов 450 В; C_k – емкость конденсаторов 29 мкФ.

$$W = \frac{29 \cdot 10^{-6} \cdot 450^2}{2} \cdot 50 = 197 \text{ Вт}.$$

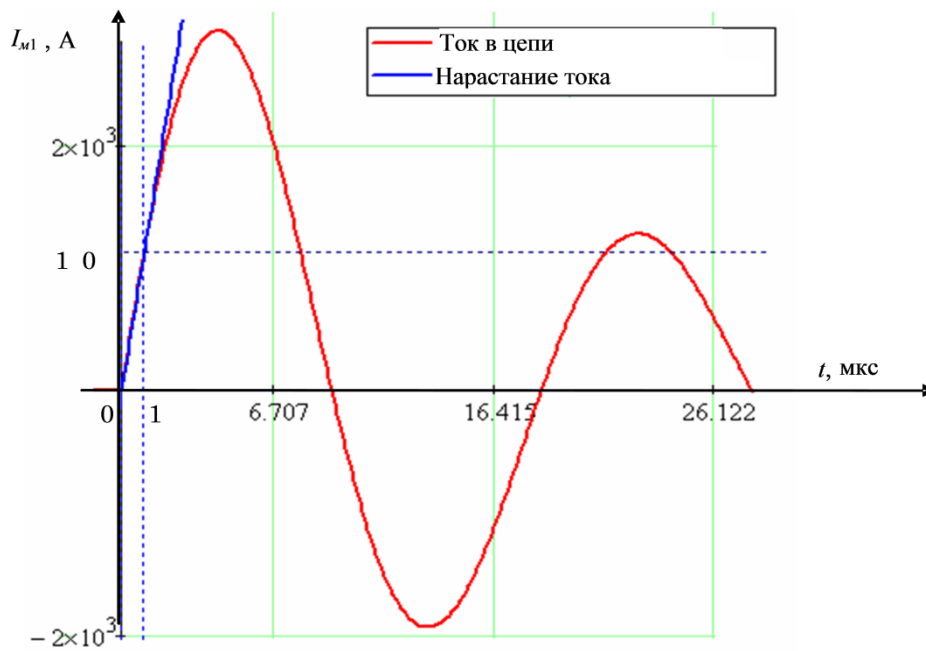


Рис. 2. Расчётная временная зависимость разрядного тока

Мощность, потребляемая блоком управления, составляет порядка 50 Вт. Суммарное потребление энергии модельного источника мощности составляет 250 Вт. В соответствии с проведенными оценками возможных параметров модельного источника мощности была разработана логика управления и приведены принципиальные схемы. Логика управления предполагает, что модельный источник мощности работает от сети переменного тока промышленной частоты.

Процессы, происходящие в системе индукционного нагрева, можно исследовать с помощью регистрирующей импульсной аппаратуры. В этом случае для получения устойчивой картинки на экране осциллографа можно задавать повторяющийся серии импульсов. Количество этих импульсов контролируется автоматизированным электронным блоком управления [9], который ведёт подсчёт сгенерированных импульсов в соответствии с заданием.

Рассмотрим конструкцию испытательного генератора импульсов специальной формы для исследования системы индукционного нагрева. Он состоит из трёх модулей, первый из которых – это силовой модуль (рис. 3), состоит из зарядной цепи электрических конденсаторов C , которая скомпонована из 29 конденсаторов марки К 75-40 1,0×500 В и зарядного повышающего трансформатора $TV1$, а также выпрямителя $VD1$ (диод марки Д133) тиристорного коммутатора $VS1$ ТБ-153, обратного диода $VD2$, согласующего устройства $TA1$ и измерительного шунта $R_{ш}$.

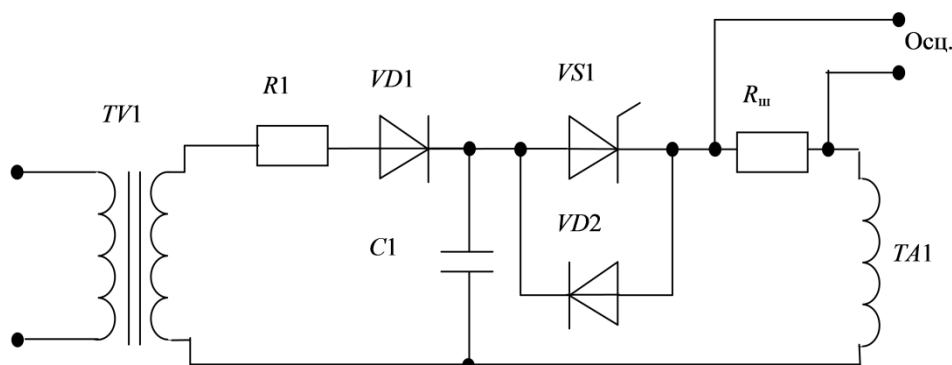


Рис. 3. Принципиальная схема силового модуля системы индукционного нагрева

Силовой трансформатор $TV1$ питает схему. Напряжение питания выпрямляется с помощью диода $VD1$ и стабилизируется включенными последовательно интегральными стабилизаторами серии KP142. Такая компоновка позволяет стабилизировать питание схемы +5 В при варьировании напряжения на входе силового трансформатора в диапазоне от 130 В до 230 В.

Импульсный трансформатор воздушного типа выполнен таким образом, что вторичная обмотка имеет вид разрезного витка, а первичная выполнена в виде многovitковой спирали. Для работы предлагаемого в схеме экспериментального стенда были выполнены расчёты параметров согласующего устройства в соответствии с описанной в работе [10] методикой.

С целью установки заданного заранее количества импульсов (с подсчетом) и возможностью остановки вручную либо непрерывной последовательности импульсов используется второй модуль – модуль управления режимом работы.

На рис. 4, а представлена схема управления генератором импульсов специальной формы для исследования системы индукционного нагрева. Кнопка $SB1$ задаёт режим работы генератора (автономный или под управлением персонального компьютера).

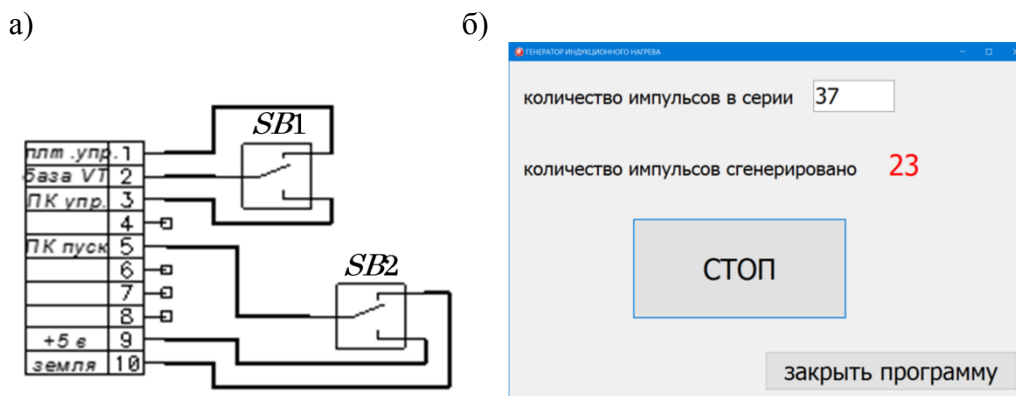


Рис. 4. Элементы управления режимом работы генератора:
а – схема управления генератором; б – окно программы управления

Для управления генератором мощности при помощи компьютера была разработана программа управления, окно с органами управления и индикацией которой показано на рис. 4, б. Управление программой возможно как с панели управления модельного источника мощности, так и с компьютера. Кнопка $SB2$ «пуск» на экране монитора и на панели управления источника мощности дублируют друг друга.

Разрабатываемый автоматизированный электронный блок управления даёт возможность работать в двух режимах. Первый режим непрерывной генерации импульсов не требует применения персонального компьютера. Второй – режим генерации заданного заранее количества импульсов либо неограниченной их генерации с подсчетом к ручной остановке. На рис. 5 показаны Эпюры токов и напряжений работы предлагаемого автоматизированного электронного блока управления показаны на рис. 5. Данные эпюры получены в ходе эксперимента при настройке заданных режимов работы. В первую четверть полупериода сетевого напряжения происходит зарядка силовых конденсаторов U_c . Далее время-задающая цепочка посредством компаратора сравнивает фиксированное опорное напряжение с напряжением на конденсаторе и формирует управляющий импульс открытия разрядного ключа U_{start} . При этом возникает разрядный ток $I_{разряда}$, качественный вид которого зависит от параметров нагрузочного разрядного контура.

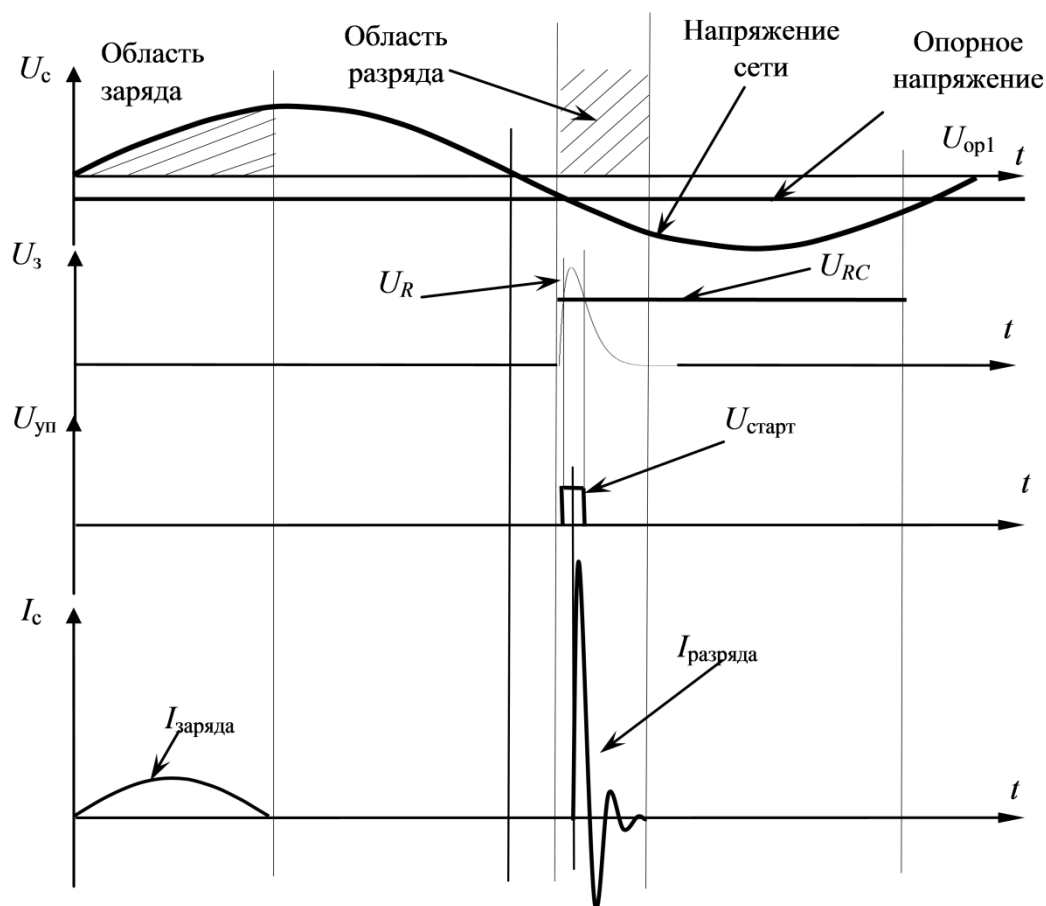


Рис. 5. Эпюры напряжений и токов автоматизированного электронного блока управления

Из диаграмм, представленных на рис. 5 видно, что частота генерации тестовых импульсов синхронизирована с частотой питающей сети. Такая логика построения системы управления существенно упрощает её схемотехническое исполнение. В то же время достаточна для получения устойчивого изображения на экране осциллографа.

В случае необходимости генерации строго заданного количества импульсов применяется программа управления. Количество импульсов или общее время работы можно изменять в определённых пределах на основной панели управления главного окна программы.

Возможны два следующих режима работы.

При нажатии одной из кнопок «пуск» будет происходить непрерывная генерация импульсов, если в позиции подсчёта количества импульсов задан «ноль». Одновременно ведётся их подсчет. Это происходит до тех пор, пока повторно не нажата кнопка «пуск».

Когда в окне количества импульсов задано ненулевое значение, то генерируется пакет импульсов. Работу генератора можно остановить экстренно повторным нажатием кнопки «пуск». Такое действие производится в случае необходимости.

Для варьирования частоты разрядных импульсов при моделировании электромагнитных процессов в широком частотном диапазоне применяется понижающий трансформатор, первичная обмотка которого включена последовательно в разрядный контур, а вторичная подключена к нагрузке. Частота в данном случае задаётся переключением отводов первичной обмотки с разным количеством подключаемых витков. Такое построение разрядного контура позволяет задействовать все конденсаторы, установленные в генератор, и эффективно использовать энергию всей сборки емкостного накопителя энергии, получая при этом в нагрузке амплитуды токов, достаточные для качественного проведения процесса измерения картины распределения токов в нагреваемом образце.

Заключение.

Рассмотрены проблемы, возникающие при эксплуатации магистральных нефтегазовых проводов в условиях Крайнего Севера, а также пути их решения. Была детально изучена проблема переохладения нефтепровода в северных регионах страны, способы ее решения. Показано, что система обогрева нефтепровода со скин-эффектом обладает рядом преимуществ по сравнению с другими системами, а именно большая длина прокладки системы обогрева, высокая надежность, высокий КПД нагрева, безопасность.

Предложена система физического моделирования электромагнитных процессов, происходящих при индукционном нагреве, позволяющая повысить эффективность работы скин-системы. Показано, что использование выходного трансформатора позволяет получать в нагреваемом металле уровни токов, достаточные для качественного измерения распределения магнитных полей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **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.
2. **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, 18...19 ноября 2024 г.
3. 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.
4. **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.
5. Резонансный усилитель электрической мощности. Экспериментальные исследования / Ю. В. Батыгин, С. А. Шиндерук, Г. С. Сериков, Е. Ф. Еремина // Луцкий Национальный технический университет ХНТУ: Сборник научных трудов: Перспективные технологии и приборы. – Луцк, 2018. – № 13. – С.18-24.
6. Резонансный усилитель реактивной электрической мощности. Анализ электромагнитных процессов / Ю. В. Батыгин, Г. С. Сериков, С. А. Шиндерук, В. А. Стрельникова, Э. Р. Усмонов // Электротехника и электроэнергетика. – 2019. – № 2. – С. 34-42.
7. Индуктивное возбуждение последовательного RLC-контура прямоугольными импульсами напряжения. Расчетные соотношения / Ю. В. Батыгин, Т. В. Гаврилова, С. А. Шиндерук, Г. С. Сериков, И. А. Серикова, Е. Е. Черный // Автомобиль и Электроника. Современные технологии. Электронное научное специализированное издание (печатная версия). – 2019. – № 15. – С. 82-87.
8. Расчетные соотношения для цилиндрической индукторной системы с внутренним бифилярным соленоидом / 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. – № 16. – С. 23-29.
9. **Сериков, Г. С.** Компьютерный комплекс для измерения характеристик магнитно-импульсных систем / Г. С. Сериков // Электротехника и электромеханика. – 2009. – № 1. – С. 66-69.

10. Батыгин Ю. В., Сериков Г. С., Шиндерук С. А., Сабокар О. С. Способ генерирования высоких амплитуд переменного синусоидального напряжения в резонансном режиме. Пат. № 133471 (Украина), Н03Н 7/00 Н02М 3/338 патентообладатель Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. - опубл. 10.04.2019, Бюл. № 7. – 2 с.

Поступила в редакцию 14 февраля 2025

MODELING OF PROCESSES IN INDUCTION HEATING SYSTEMS IN OIL AND GAS SUPPLY LINES IN THE FAR NORTH CONDITIONS

G. S. Serikov, I. A. Serikova, O. S. Zhilkin, A. R. Golovnya

Georgy Sergeevich Serikov, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor at 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 at 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

Oleg Sergeevich Zhilkin, student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(952)955-32-96; e-mail: oleg02486@gmail.com

Anton Romanovich Golovnya, student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(910)242-69-69; e-mail: golovnya.tosha@mai.ru

The article considers the possibility of using induction heating systems in oil systems located in the latitudes of the Far North. We have worked out theoretical aspects of increasing the efficiency of heating oil and gas pipelines using the induction method with a skin system. As one of the possible options for increasing the efficiency of this system, we considered physical modeling of the processes of magnetic field distribution in the skin system. To implement physical modeling, we proposed a test pulse generator of a special form for studying the induction heating system. We as well determined the main parameters of the power source, and developed a basic diagram of the magnetic-pulse system.

Keywords: skin system; oil pipelines; induction heating; pulse power source; magnetic pulse system.

REFERENCES

1. **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)
2. **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)
3. **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)
4. **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)
5. **Batygin Yu. V., Shinderuk S. A., Serikov G. S., Eremina E. F.** *Resonant electrical power amplifier. Experimental research.* Lutsk National Technical University KhNTU: Collec-

tion of scientific papers: Advanced technologies and devices. Lutsk, 2018. No. 13. Pp.18-24. (in Ukrainian)

6. **Batygin Yu. V., Serikov G. S., Shinderuk S. A., Strelnikova V. A., Usmonov E. R.** *Resonant amplifier of reactive electrical power. Analysis of electromagnetic processes.* Electrical engineering and power engineering. 2019. No. 2. Pp. 34-42. (in Ukrainian)

7. **Batygin Yu. V., Gavrilova T. V., Shinderuk S. A., Serikov G. S., Serikova I. A., Black E.E.** *Inductive excitation of a serial RLC circuit with rectangular voltage pulses. Calculation ratios.* Automotive and Electronics. Modern technologies. Electronic scientific specialized publication (printed version). 2019. No. 15. Pp. 82-87. (in Ukrainian)

8. **Batygin Yu. V., Bondarenko A. Yu., Eremina E. F., Shinderuk S. A., Serikov G. S.** *Calculation relations for a cylindrical inductor system with an internal bifilar solenoid.* Bulletin of the National Technical University KhPI. Series: Technology and electrophysics of high voltages. 2019. No. 16. Pp. 23-29. (in Ukrainian)

9. **Serikov G. S.** *Computer complex for measuring the characteristics of magnetic pulse systems.* Electrical engineering and electromechanics. 2009. No. 1. Pp. 66-69. (in Russian)

10. **Batygin Yu. V., Serikov G. S., Shinderuk S. A., Sabokar O. S.** *A method for generating high amplitudes of alternating sinusoidal voltage in resonant mode.* Pat. No. 133471 (Ukraine), H03H 7/00 H02M 3/338 patent holder Kharkov National Automobile and Highway University. No. 133471. publ. 04/10/2019, bull. No. 7. 2 p. (in Ukrainian)

Received 14 February 2025

Для цитирования:

Моделирование процессов в системах индукционного нагрева на нефтегазовых коммуникациях в условиях Крайнего Севера / Г. С. Сериков, И. А. Серикова, О. С. Жилкин, А. Р. Головня // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 2(33). – С. 39-49. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.004.

FOR CITATION:

Serikov G. S., Serikova I. A., Zhilkin O. S., Golovnya A. R. *Modeling of processes in induction heating systems in oil and gas supply lines in the far north conditions.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 39-49. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.004. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.005

УДК 621.182.3

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ КОТЛОВ ТИПА КЕ ПРИ РАБОТЕ НА БУРОМ УГЛЕ

Д. Н. Китаев, М. С. Хомяков

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

Хомяков Максим Сергеевич, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(920)514-13-87; e-mail: maximkhomyakov.vrn@gmail.com

Использование бурого угля в системах теплоснабжения страны получило широкое распространение. Элементарный состав бурого угля и его теплотворная способность значительно отличаются в зависимости от района добычи. Представлены результаты моделирования энергетических показателей паровых котлов серии КЕ при работе на буром угле, добываемом на территории РФ, во всем возможном диапазоне изменения низшей теплоты сгорания. На основе расчета теплового баланса котлов, использующих бурый уголь, установлены значения изменений основных энергетических параметров. Найдены проектные значения коэффициента полезного действия котлов на буром угле и их изменения по сравнению с каменным. Получены уравнения, позволяющие с высокой точностью рассчитать расход топлива и температуру продуктов сгорания на выходе из топочных устройств котлов серии КЕ при использовании бурого угля в зависимости от значений низшей теплоты сгорания топлива и паропроизводительности.

Ключевые слова: бурый уголь, теплогенератор, состав топлива, тепловой баланс, расход топлива, коэффициент полезного действия, дымовые газы.

В энергетическом балансе страны бурый уголь занимает важное место. Более 50 % балансовых запасов приходится на долю бурых углей [1]. Не смотря на то, что добывается преимущественно каменный уголь, на долю бурого приходится около 20 %. Бурый уголь как энергетическое топливо используется преимущественно как местное, но остается в настоящее время важным и необходимым источником энергии в ряде регионов России для нужд коммунального хозяйства [2]. В настоящее время наибольший вклад в добычу и использование бурого угля вносят Дальневосточный и Сибирский федеральный округ, также они обладают наибольшими запасами.

После введения санкций против России и, как следствие, запрета на экспорт энергоресурсов в ряд стран, повышение спроса на уголь на внутреннем рынке является стратегической задачей [3...5]. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 предусматривает масштабное освоение Ерковецкого буроугольного месторождения в Амурской области, развитие традиционного центра угледобычи в Анадырском буроугольном месторождении в целях обеспечения внутренних потребностей Чукотки в угольной продукции, техническое перевооружение производства и увеличение добычи бурого угля на Анадырском месторождении.

Важной задачей является повышение доли использования бурого угля как энергетического топлива. Изучению возможностей перехода на местные виды топлива посвящено большое количество исследований [6...8]. Необходимо уметь прогнозировать изменения в технико-экономических показателях котельных установок при переходе на непроектный вид угля [9...11].

В соответствии с ГОСТ 17070-2014 «Угли. Термины и определения» угли низкой стадии метаморфизма с высокими значениями выхода летучих веществ и содержанием влаги, высшей теплотой сгорания менее 24 МДж/кг (в пересчете на влажное беззольное состояние) относят по классификации к бурым. Бурые угли обладают средним значением показателя отражения витринита менее 0,6 %. По классификации ГОСТ 25543-2013 «Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам» марка топлива бурый уголь подразделяется на группы (1Б, 2Б, 3Б), подгруппы (2БФ, 2БВ, 3БВ, 3БФ), классы (по показателю отражения витринита), категории (по показателю суммы фюзенизированных компонентов на чистый уголь), типы (по максимальной влагоемкости на беззольное состояние) и подтипы (по выходу смолы полукоксования на сухое беззольное состояние).

Одним из распространенных типов котлов в коммунальной энергетике и промышленности являются твердотопливные котлы серии КЕ номинальной паропроизводительностью D , равной 2,5, 4, 6,5, 10 и 25 т/ч [12], способные работать на буром угле.

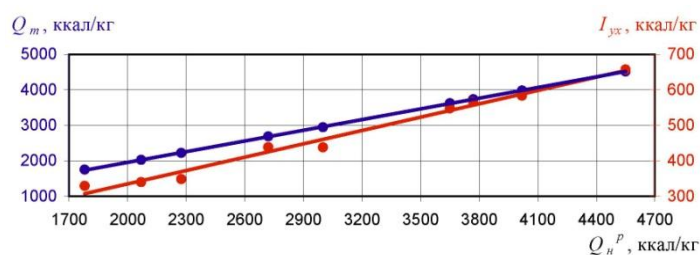
В табл. 1 представлены характеристики бурых углей класса Р, добываемых на территории России, рассматриваемых для сжигания в котлах КЕ. Диапазон низшей теплоты сгорания топлива был выбран в диапазоне от минимального 1780 ккал/кг до максимального 4550 ккал/кг, в промежутке взято еще 7 значений.

Таблица 1

Характеристики бурых углей, добываемых на территории РФ, %

№	марка	Содержание компонентов							Низшая рабочая теплота сгорания Q_n^P , ккал/кг
		C^P	S^P	H^P	O^P	N^P	W^P	A^P	
1	1Б	22,2	0,4	2,1	8,6	0,3	52	14,4	1780
2	2Б	24,3	2,5	1,9	8,2	0,4	32,1	30,6	2070
3	3Б	27,5	0,2	2,1	12,6	0,5	22	35,1	2275
4	1Б	33,5	0,3	2,2	10,3	0,5	40	13,2	2720
5	3Б	33,6	0,8	2,5	9,5	0,9	17	35,7	3000
6	2Б	42,6	0,2	3	13,2	0,6	33	7,4	3650
7	3Б	41,4	1,8	3	6	0,9	31,5	15,4	3770
8	3Б	44,4	1,4	3,2	10,2	0,8	25	15	4020
9	3Б	51,7	0,2	3,6	13,8	0,6	24	6,1	4550

Как видно из табл. 1, в рассматриваемых бурых углях содержание углерода C^P на рабочую массу топлива находится в диапазоне от 22,2, до 51,7 %, водорода H^P от 1,9 до 3,6 %, серы S^P от 0,2 до 2,5 %, влаги W^P от 17 до 52 %, золы A^P от 6,1 до 35,7 %, кислорода O^P от 6 до 13,8 %, азота N^P от 0,3 до 0,9 %. На рис. 1 и 2 представлены графики зависимостей энтальпии уходящих дымовых газов I_{yx} , тепловыделения в топочном объеме Q_m , адиабатической температуры горения t_a , средней теплоемкости дымовых газов c_{cp} при изменении теплотворной способности топлива, полученные на основе проведенных расчетов.

Рис. 1. График зависимости Q_m и I_{yx} от теплотворной способности топлива

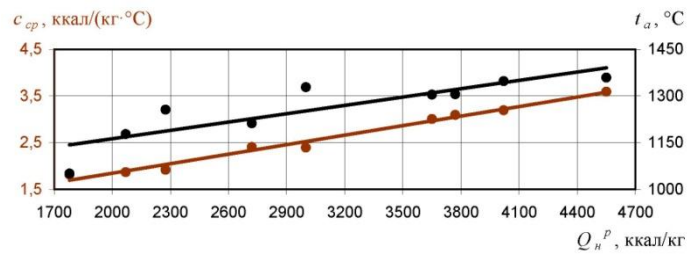


Рис. 2. Зависимость средней теплоемкости дымовых газов c_{sp} и адиабатической температуры горения t_a от теплотворной способности топлива

Зависимости, представленные на рис. 1 и 2, близки к линейным, и демонстрируют общую тенденцию увеличения рассмотренных параметров с ростом теплотворной способности топлива.

Результаты расчета коэффициента полезного действия котла брутто и расхода топлива в зависимости от теплотворной способности бурого угля для всего сортамента котлов КЕ с давлением пара 14 атмосфер, представлены на рис. 3 и рис. 4.

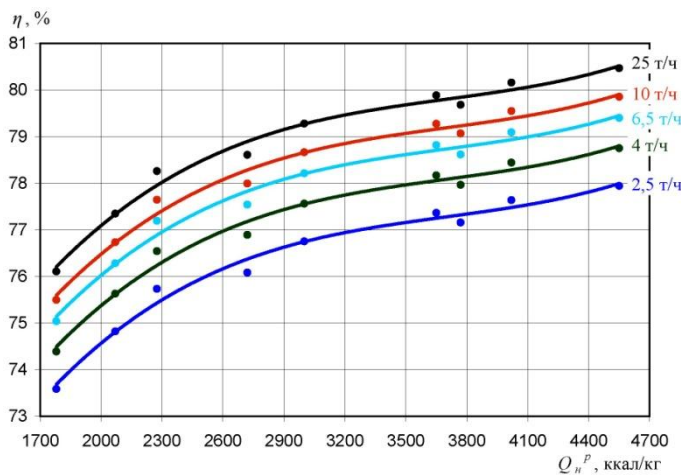


Рис. 3. Зависимость коэффициента полезного действия котла брутто от теплотворной способности топлива

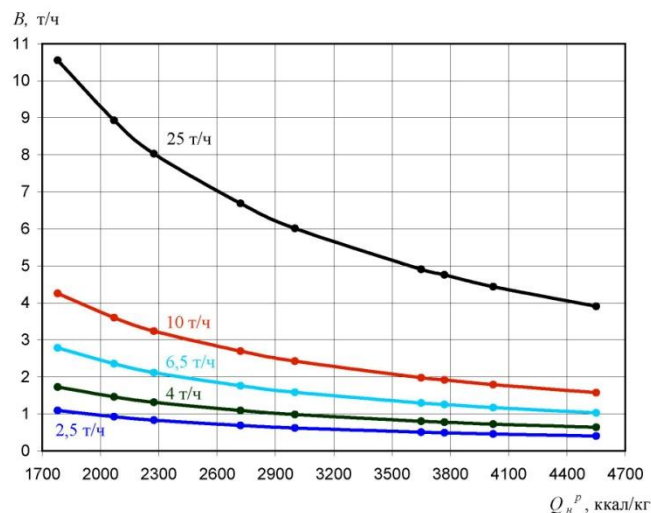


Рис. 4. Зависимость расхода топлива от теплотворной способности

На рис. 3 наглядно прослеживается тенденция увеличения КПД с ростом теплотворной способности топлива, а его изменение составляет 4,4 %. Для угля номер 7 при увеличении теплотворной способности происходит уменьшение КПД котла по сравнению с то-

пливом 6. Это можно объяснить высокой зольностью в топливе 7, более чем в два раза по сравнению с топливом 6, что приводит к увеличению потерь теплоты со шлаком q_6 .

Наибольшее значение КПД может быть получено для котла с номинальной паропроизводительностью 25 т/ч. Такая ситуация может быть объяснена тем, что в соответствии с нормативным методом расчета теплогенерирующих установок при увеличении паропроизводительности котла снижаются потери теплоты с обмуровки котла q_5 . При работе на номинальном режиме для котла при $D = 2,5$ т/ч потери $q_5 = 3,72$ %, а при $D = 25$ т/ч потери $q_5 = 1,2$ %. Сравнение с паспортными значениями КПД для котлов, полученных при работе на каменных углях показывает, что использование бурого угля приводит к снижению в среднем на 3,93 %. Для рассматриваемого сортамента котлов по производительности 2,5; 4; 6,5; 10 и 25 т/ч снижение КПД составляет соответственно 2,46; 3,65; 3; 2,5; 8,03 %.

Как следует из рис. 4, при увеличении значения теплотворной способности монотонно уменьшается расход топлива на котел. Снижение расхода топлива в рассматриваемом диапазоне изменения теплотворной способности от 1780 ккал/кг до 4450 ккал/кг, по всем котлам составляет 63 %. Было найдено уравнение с двумя переменными, позволяющее со средним значением относительной погрешности 0,76 % рассчитать расход топлива при использовании бурого угля в зависимости от значения низшей теплоты сгорания топлива Q_n^p , ккал/кг и паропроизводительности котла D , т/ч, вида

$$B = X (Q_n^p)^3 + Y (Q_n^p)^2 + Z Q_n^p + F, \text{ т/ч;} \quad (1)$$

где $X = -(1,1809D + 0,155305) 10^{-11}$; $Y = (1,44422D + 0,18641) 10^{-7}$;

$Z = -(6,318D + 0,792412) 10^{-4}$; $F = 1,15188D + 0,1371$.

В соответствии с рекомендациями нормативного метода теплового расчета теплогенерирующих установок поверочный расчет выполняется методом последовательных приближений. В процессе расчета топки необходимо задание предварительной температуры на выходе из нее. От принятого значения зависит количество итераций до достижения необходимой точности. В табл. 2 представлены результаты расчетов температур на выходе из топки t_m рассматриваемых котлов при сжигании бурого угля с коэффициентом избытка воздуха 1,3 с точностью 0,001 °С. Указаны средняя температура t_{cp} , °С и разница максимальной и минимальной дымовых газов Δt , °С.

Таблица 2

Температуры дымовых газов t_m , °С на выходе из топок котлов типа КЕ

D , т/ч	Номер угля									Δt , °С	t_{cp} , °С
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
2,5	761,88	795,25	810,92	814,84	828,81	837,61	836,63	844,71	851,95	90,06	820,29
4	814,07	861,20	885,70	883,22	911,01	914,97	914,66	927,37	934,95	120,88	894,13
6,5	847,59	904,49	935,12	928,03	965,71	966,23	966,35	982,46	990,33	142,74	942,92
10	867,65	929,82	964,13	955,13	998,15	997,97	997,98	1016,12	1024,63	156,98	972,40
25	843,03	896,58	925,36	921,86	954,84	960,31	959,20	974,90	984,39	141,37	935,61

Результаты расчетов показывают что значение температуры продуктов сгорания на выходе из топки может находиться в широком диапазоне от 762 °С при сжигании бурого угля с наименьшей калорийностью в котле с паропроизводительностью 2,5 т/ч до 1025 °С при сжигании бурого угля с наибольшей калорийностью в котле 25 т/ч. Для котлов номинальной паропроизводительностью от 2,5 до 10 т/ч наблюдается тенденция увеличения средней температуры t_{cp} и разницы Δt . Для котлов паропроизводительностью 6,5 и 25 т/ч получаются наиболее близкие результаты.

Было получено выражение, позволяющее в первом приближении определить температуру продуктов сгорания на выходе из топки

$$t_m = 9,5368 \cdot 10^{-9} (Q_n^p)^3 - 1,02033 \cdot 10^{-4} (Q_n^p)^2 + 0,372523 Q_n^p + 372,578 + \Delta, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2)$$

где Δ – корректирующее слагаемое, принимаемое в зависимости от паропроизводительности котла:

при $D = 2,5 \text{ т/ч}$, $\Delta = 0$;

при $D = 4 \text{ т/ч}$, $\Delta = 73,84$;

при $D = 6,5 \text{ т/ч}$, $\Delta = 122,64$;

при $D = 10 \text{ т/ч}$, $\Delta = 152,11$;

при $D = 25 \text{ т/ч}$, $\Delta = 115,32$.

Результат вычисления температуры дымовых газов по формуле (2), используемый как начальный на первой итерации, позволяет получить после первого шага цикла значение погрешности не более 5 %.

Заключение.

Установлено, что значение низшей теплоты сгорания бурого угля, добываемого на территории РФ может отличаться в 2,5 раза, что способствует широкому изменению энергетических показателей теплогенерирующих установок.

В диапазоне низшей теплоты сгорания бурого угля от 1780 до 4550 ккал/кг КПД brutto паровых котлов серии КЕ изменяются в среднем на 4,4 %, а снижение расхода топлива при этом может составлять до 63 %.

Предложено уравнение, позволяющее со средним значением относительной погрешности 0,76 % рассчитать расход топлива при использовании бурого угля в зависимости от значения низшей теплоты сгорания топлива и паропроизводительности котла.

На основе проведенных расчетов показано, что в зависимости от теплотворной способности бурого угля для котлов серии КЕ температура дымовых газов на выходе из топki может отличаться на 263 °С. Получено выражение, которое можно использовать для определения значений температур продуктов сгорания бурого угля на выходе из топок котлов типа КЕ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гаврилов, В. Л.** О структуре запасов и добычи угля в Сибири и на Дальнем Востоке России / В. Л. Гаврилов, Н. А. Немова, К. Е. Медведева // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 2. – № 1. – С. 69-77. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-2-1-69-77.
2. **Калинский, О. И.** Буроугольная промышленность России: специфика концепции развития / О. И. Калинский, М. С. Гончаров, О. О. Скрябин // Экономика промышленности. – 2023. – Т. 16. – № 2. – С. 176-189. – DOI 10.17073/2072-1633-2023-2-176-189.
3. **Корневская, А. В.** Основные направления развития и повышения эффективности функционирования предприятий угольной промышленности России в условиях западных санкций / А. В. Корневская, К. А. Пронина // Экономические системы. – 2023. – Т. 16. – № 2. – С. 166-172. – DOI 10.29030/2309-2076-2023-16-2-166-172.
4. **Механизм управления затратами на топливно-энергетические ресурсы в процессе эксплуатации объектов городской инфраструктуры** / О. Куцыгина, А. Чугунов, М. Агафонова, И. Серебрякова // Энергетическое управление муниципальными объектами и устойчивые энергетические технологии: сборник трудов по материалам XXI Международной научной конференции, Воронеж, 28...30 ноября 2019 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2020. – С. 41-51.
5. **Тенденции в сфере повышения энергетической безопасности** / А. Ефимьев, О. Куцыгина, М. Агафонова, А. Чугунов // Энергетическое управление муниципальными объектами и устойчивые энергетические технологии : сборник трудов по материалам XXI

Международной научной конференции, Воронеж, 28–30 ноября 2019 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2020. – С. 90-96.

6. **Хвостиков, А. С.** Оценка эффективности работы котлоагрегатов Дальнего Востока на непроектных углях / А. С. Хвостиков, О. В. Агарков // Научное обозрение. Технические науки. – 2024. – № 2. – С. 29-34. – DOI 10.17513/srts.1463.

7. **Куандыкова, А. А.** О перспективе перевода омских ТЭЦ на сжигание отечественных углей / А. А. Куандыкова, В. М. Лебедев // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2021. – Т. 14. – № 1. – С. 118-129. – DOI 10.17516/1999-494X-0292.

8. **Использование смесового топлива на основе бурого угля и продуктов его термической переработки в топках энергетических котлов** / А. В. Жуйков, А. И. Матюшенко, Д. А. Логинов [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2021. – Т. 14. – № 1. – С. 106-117. – DOI 10.17516/1999-494X-0291.

9. Оценка влияния теплотехнических характеристик непроектных бурых углей на их пригодность для сжигания в топке энергетического котла / С. Л. Чернов, В. Б. Прохоров, В. Д. Апаров, А. В. Пай // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2024. – №5. – С. 74-87. – DOI: 10.31857/S0002331024050067.

10. **Чернов, С. Л.** Влияние коэффициентов горения на основе характеристики угля на его сжигание в топке котла / С. Л. Чернов, В. Б. Прохоров, В. Д. Апаров, М. В. Фоменко // Проблемы региональной энергетики. – 2024. – № 3(63). – С. 44-55. – DOI 10.52254/1857-0070.2024.3-63.04.

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

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

Поступила в редакцию 26 марта 2025

ENERGY PERFORMANCE INDICES OF KE BOILERS FIRED WITH BROWN COAL

D. N. Kitaev, M. S. Khomyakov

Dmitry Nikolaevich Kitaev, 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(906)671-02-84; e-mail: dim.kit@rambler.ru

Maxim Sergeevich Khomyakov, Student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(920)514-13-87; e-mail: maximkhomyakov.vrn@gmail.com

The use of brown coal in housing and communal services systems of the country has become widespread. The elemental composition of brown coal and its calorific value vary significantly depending on the mining area. The article presents the results of modeling the energy performance of steam boilers of KE series operating on brown coal (mined in the Russian Federation) over the entire possible range of net calorific value. Based on the calculation of the heat balance of boilers using brown coal, we established the values of changes in the main energy parameters. We determined the design values of the efficiency of brown coal boilers and their changes in comparison with hard coal boilers. We obtained the equations that allow for highly accurate calculation of fuel consumption and the temperature of com-

bustion products at the outlet of the furnace devices of KE boilers using brown coal depending on the values of the net calorific value of the fuel and steam capacity.

Keywords: brown coal; heat generator; fuel composition; heat balance; fuel consumption; efficiency; flue gases.

REFERENCES

1. **Gavrilov V. L., Nemova N. A., Medvedeva K. E.** *On the structure of coal reserves and production in Siberia and the Russian Far East.* Inter Expo Geo-Siberia. 2023. Vol. 2. No. 1. Pp. 69-77. DOI 10.33764/2618-981X-2023-2-1-69-77.
2. **Kalinsky O. I., Goncharov M. S., Skryabin O. O.** *Brown coal industry of Russia: specifics of the development concept.* Industrial Economics. 2023. Vol. 16, No. 2. Pp. 176-189. DOI 10.17073/2072-1633-2023-2-176-189. (in Russian)
3. **Korenevskaya A. V., Pronina K. A.** *The main directions of development and improvement of the efficiency of functioning of enterprises of the coal industry of Russia in the context of Western sanctions.* Economic systems. 2023. Vol. 16. No. 2. Pp. 166-172. DOI 10.29030/2309-2076-2023-16-2-166-172. (in Russian)
4. **Kutsygina O., Chugunov A., Agafonova M., Serebryakova I.** *Mechanism for managing costs of fuel and energy resources in the process of operation of urban infrastructure facilities.* Energy management of municipal facilities and sustainable energy technologies: collection of papers based on the materials of the XXI International Scientific Conference, Voronezh, November 28-30, 2019. Voronezh, Voronezh State Technical University. 2020. Pp. 41-51. (in Russian)
5. **Efimiyev A., Kutsygina O., Agafonova M., Chugunov A.** *Trends in improving energy security.* Energy management of municipal facilities and sustainable energy technologies: collection of papers based on the materials of the XXI International Scientific Conference, Voronezh, November 28-30, 2019. Voronezh, Voronezh State Technical University. 2020. Pp. 90-96. (in Russian)
6. **Khvostikov A. S., Agarkov O. V.** *Evaluation of the efficiency of boiler units in the Far East on non-design coals.* Scientific Review. Technical sciences. 2024. No. 2. Pp. 29-34. DOI 10.17513 / srts.1463. (in Russian)
7. **Kuandykova A. A., Lebedev V. M.** *On the prospects of converting Omsk thermal power plants to burning domestic coal.* Journal of the Siberian Federal University. Series: Engineering and Technology. 2021. Vol. 14. No. 1. Pp. 118-129. DOI 10.17516 / 1999-494X-0292. (in Russian)
8. **Zhuykov A. V., Matyushenko A. I., Loginov D. A. [et al.].** *Use of mixed fuel based on brown coal and its thermal processing products in power boiler furnaces.* Journal of the Siberian Federal University. Series: Engineering and Technology. 2021. Vol. 14. No. 1. Pp. 106-117. DOI 10.17516/1999-494X-0291. (in Russian)
9. **Chernov S. L., Prokhorov V. B., Aparov V. D., Pai A. V.** *Assessment of the influence of thermal characteristics of non-design brown coals on their suitability for combustion in the furnace of a power boiler.* Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering. 2024. No. 5. Pp. 74-87. DOI: 10.31857/S0002331024050067. (in Russian)
10. **Chernov S. L., Prokhorov V. B., Aparov V. D., Fomenko M. V.** *Influence of combustion coefficients based on coal characteristics on its combustion in the boiler furnace.* Problems of regional energy. 2024. No. 3 (63). Pp. 44-55. DOI 10.52254/1857-0070.2024.3-63.04. (in Russian)
11. **Babenko G. S., Zakharov G. A., Sopova V. N., Tsygankova K. V.** *Layered combustion of low-grade coals with high moisture content in mechanized furnaces of low-power hot water boilers.* Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University. 2017. No. 4(33). Pp. 44-55. (in Russian)

12. **Savina M. V., Ndlovu E. T., Mingaleeva G. R.** *Evaluating the efficiency of a KE type steam boiler when burning low-grade fuel.* Bulletin of the Kazan State Energy University. 2020. V. 12. No. 1 (45). Pp. 3-12. (in Russian)

Received 26 March 2025

Для цитирования:

Китаев, Д. Н. Энергетические показатели работы котлов типа КЕ при работе на буром угле / Д. Н. Китаев, М. С. Хомяков // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 2(33). – С. 50-57. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.005.

FOR CITATION:

Kitaev D. N., Khomyakov M. S. *Energy performance indices of KE boilers fired with brown coal.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 50-57. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.005. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.006

УДК 658.261:665.725

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЖИЖЕННОГО ГАЗА В АВТОНОМНЫХ КОТЕЛЬНЫХ

А. Р. Гатауллина, В. А. Мартяшева, Н. Д. Торосян

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

Мартяшева Валентина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Российская Федерация, тел.: +7(347)242-03-70; e-mail: martyashova@mail.ru

Торосян Нарек Давидович, студент кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Российская Федерация, тел.: +7(347)242-03-70; e-mail: nt0rosyan@yandex.ru

Использование сжиженного природного газа (СПГ) становится особенно актуальной в свете глобальных изменений климата и стремления к переходу на более чистые и устойчивые источники энергии. Страны, активно развивающие инфраструктуру СПГ, уменьшают свою зависимость от традиционных углеводородов, способствуя формированию более гибкой и диверсифицированной энергетической системы. Перевод автономных котельных с традиционных энергетических ресурсов на альтернативные виды топлива, такие как СПГ, становится все более актуальным. В работе проведен технико-экономический расчет целесообразности перевода традиционных автономных котельных малой мощности на сжиженный природный газ. Доказано, что перевод котельной на СПГ экономически эффективен и целесообразен с точки зрения себестоимости вырабатываемой тепловой энергии.

Ключевые слова: природный газ; сжиженный природный газ; автономное теплоснабжение; отопление.

Природный газ в современном мире – одно из самых распространенных видов топлива. Он экологичный, дешевый и безопасный. Основная проблема использования природного газа необходимость прокладки магистральных газопроводов в неблагоприятных, труднодоступных районах, где отсутствуют инженерные сооружения.

Сжиженный природный газ (СПГ) – альтернатива традиционному трубопроводному газу, особенно актуальная для труднодоступных мест. Он представляет собой тот же природный газ, но сжиженный путём адиабатического совершения работы и имеет температуру порядка минус 162 °С для удобства хранения и перевозки.

По прогнозу Минэкономразвития России, в 2025 году экспорт сжиженного природного газа может составить 40 млн тонн. В июне 2024 года производство крупнотоннажного СПГ выросло на 6,4 % по сравнению с предыдущим годом, достигнув 2,5 млн тонн. За первые шесть месяцев 2024 года производство СПГ составило 17,3 млн тонн, что на 4,7 % больше, чем годом ранее. Данная тема рассматривается в работе [1].

Одно из возможных направлений развития системы газопотребления – это производство СПГ на газораспределительных станциях, расположенных вблизи крупных городов и промышленных предприятий. Использование вторичных энергоресурсов, в том числе холодных потоков газа на газораспределительных станциях рассматриваются в работах [2...4].

Производство сжиженного природного газа – многоступенчатый процесс. Сначала газ очищают от примесей, таких как вода, гелий, водород, азот и тяжелые углеводороды, используя специальные фильтры. Это снижает уровень загрязнений до 5 %. Затем газ мно-

гократно сжимают на нескольких ступенях и охлаждают, пока он не переходит в жидкое состояние. Полученный СПГ хранят и перевозят в специальных криогенных резервуарах при определенных температуре и давлении. Перед использованием в качестве топлива, СПГ регазифицируют для возвращения в газообразное состояние.

Авторы работ [5...6] отмечают, что СПГ достойная альтернатива традиционному природному газу и имеет ряд преимуществ. В результате сжижения уменьшается объем природного газа в 600 раз, что упрощает его хранение и транспорт. Благодаря нетоксичности и некоррозионным свойствам СПГ хранится в изолированных резервуарах при низкой температуре (-161°C) и небольшом давлении. Будучи легче воздуха, СПГ быстро испаряется при разливах, в отличие от пропана, представляющего опасность взрыва. Объекты, удаленные от газовых магистралей возможно обеспечить подвозимым СПГ.

В работе [6] предложено использовать станции сжижения газа при котельных или ТЭЦ в газорегулировочной установке с применением детандер – генераторного агрегата для питания котлов и утилизации холода насыщенного газа СПГ для получения твердого углекислого газа (сухой лед) и технического азота, что снижает себестоимость получения СПГ.

Анализируя стоимость СПГ можно отметить, что она ниже жидкого топлива, но при этом теплота сгорания и соответственно энергетическая ценность СПГ выше. Котельные установки при использовании СПГ не нуждаются в специализированных дорогостоящих горелках как оборудование, работающее на жидком топливе, и имеют КПД порядка 96 %, что сравнимо с газовыми котлами.

Основные показатели работы котельных, для различных видов топлива, в том числе СПГ для условий Северо-Западного региона определены в работе [8].

В статье Тихомирова А. В. [9] показана целесообразность реструктуризации традиционных котельных на сжиженный природный газ с внедрением среднетоннажного СПГ-завода на примере одной из котельных Архангельской области.

Большинство исследований направлено на улучшение цепочки производства и потребления природного газа в целом и рассматривают котельные большой мощности с возможностью производства СПГ как вторичного продукта и использования его в виде топлива. Существует множество автономных котельных, где необходима теплоэнергия лишь в определенный период времени или расположенных в отдаленных местах для которых использование СПГ является конкурентоспособным вариантом по сравнению с другими видами топлива. В работе рассматривается использование СПГ в автономных котельных малой мощности как альтернатива природному газу и другим видам топлива. Приведено технико-экономическое обоснование использования СПГ в блочно-модульной котельной для общественного здания. Полученные данные свидетельствуют о том, что использование СПГ является экономически целесообразным вариантом.

Базовые параметры, характеризующие экономическую эффективность автономных котельных, являются капитальные и текущие затраты на эксплуатацию основного оборудования. Текущие затраты определяются в большей степени затратами на энергоресурсы.

В работе на примере автономной котельной для детского сада, расположенного в отдаленном районе Республики Башкортостан определены тепловые нагрузки, рассчитана годовая потребность в тепле на отопление и вентиляцию, которая зависит от внутренней и наружной температуры, а также продолжительности отопительного сезона. Определена потребность в тепле для нужд ГВС с учетом потерь тепла в трубах и на собственные нужды котельной. При расчете использовались «Методические указания по определению расходов топлива, электроэнергии и воды на выработку теплоты отопительными котельными коммунальных теплоэнергетических предприятий».

Определен расход топлива для обеспечения тепловых нагрузок, затраты на нужды котельной и себестоимость тепловой энергии для различных видов топлива. Результаты расчетов потребности в тепловой энергии и в топливе представлены в табл. 1.

Расчетная тепловая нагрузка на котельную детского сада составляет: на отопление – 0,073 МВт (0,063 Гкал/час), на вентиляцию – 0,021 МВт (0,018 Гкал/час). Строительный объем здания составляет 3114 м³.

Низшая теплота сгорания для СПГ принимается равной 10750 ккал/кг, для газа 8000 ккал/м³, для дизельного топлива 10 000 ккал/кг среднее значение КПД котельной $\eta=0,92$.

Стоимость 1 кг СПГ по данным «Газпром газонефтепродукт холдинг» составляет 40 руб. Годовые затраты на СПГ определены с учетом затрат на транспортировку топлива. Стоимость природного газа для выработки тепловой энергии в г. Уфа принимается 9,5 руб. за 1 м³. Стоимость дизельного топлива и электроэнергии принимались средними по Республике Башкортостан.

Таблица 1

Результаты расчетов потребности в тепловой энергии и в топливе

Наименование	Значение
Годовой отпуск тепла	0,181 тыс. Гкал
Годовая потребность топлива:	
Природный газ	24,6 тыс. м ³
СПГ	17,8 т
Дизельное топливо	19,7 т
Электроэнергия	353 тыс. кВт·ч

На рис. 1 и рис. 2 представлена тепловая схема котельной с использованием СПГ и компоновка основного оборудования.

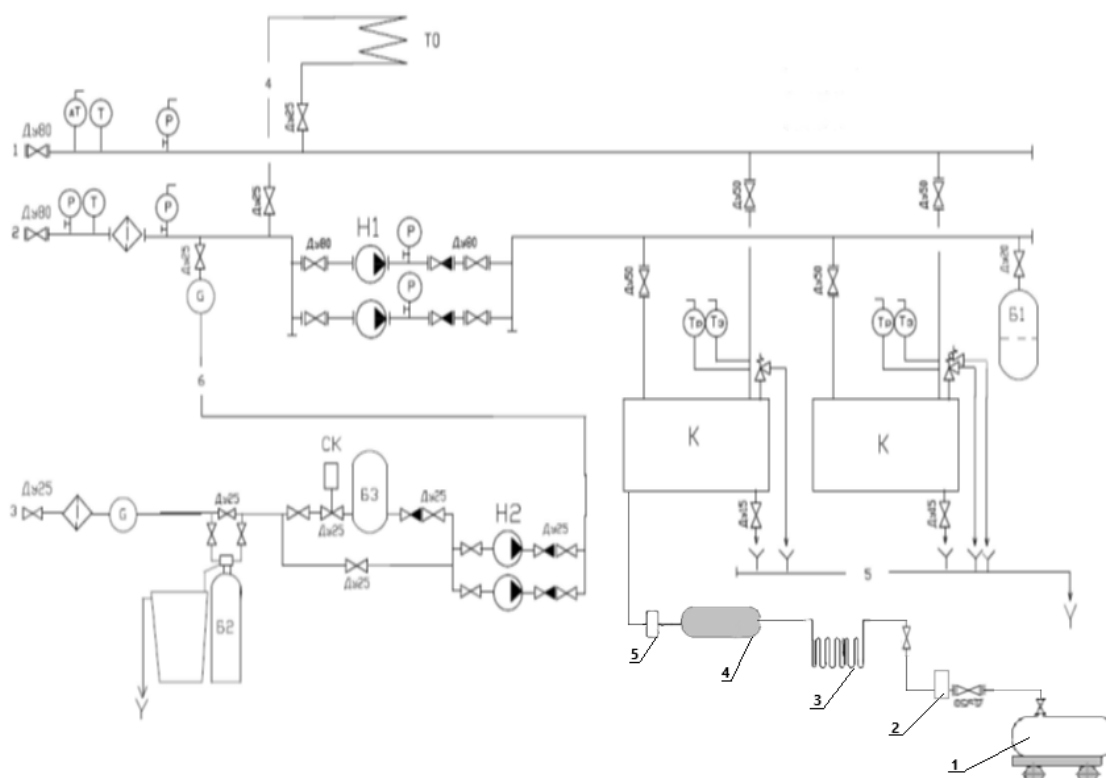


Рис. 1. Тепловая схема котельной:

- 1 – цистерны хранения СПГ; 2 – дросселирующее устройство; 3 – атмосферный подогреватель;
4 – ресивер; 5 – газорегуляторный пункт

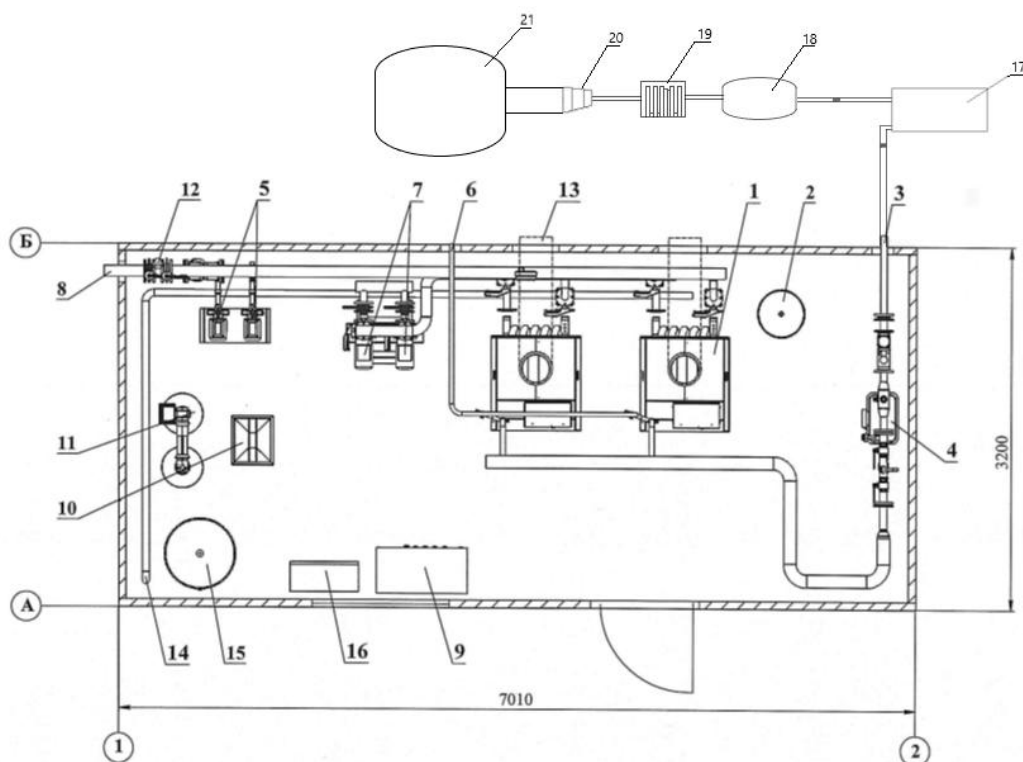


Рис. 2. Компоновка оборудования:

- 1 – котел водогрейный; 2 – бак расширительный; 3 – ввод газа; 4 – узел учета газа;
 5 – насосы подпиточные; 6 – выход на продувочную свечу; 7 – циркуляционные насосы системы отопления; 8 – трубопроводы отопления; 9 – щит управления котельной; 10 – солевая емкость;
 11 – Na-катионитовые фильтры; 12 – трубопровод подачи ХВС; 13 – дымоход; 14 – дренаж;
 15 – подпиточный бак; 16 – щит АВР; 17 – газорегуляторный пункт; 18 – ресивер;
 19 – атмосферный подогреватель; 20 – дросселирующее устройство; 21 – цистерны хранения СПГ

В предлагаемой схеме СПГ под давлением в цистернах через дроссель поступает в теплообменный аппарат, где переходит в газообразное состояние и в последствии через ресивер и ГРПШ поступает к горелкам котлов.

Результаты расчета себестоимости, вырабатываемой тепловой энергии, предлагаемой блочно-модульной котельной при работе на различном топливе приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета себестоимости тепловой энергии

Наименование	Природный газ	СПГ	Дизельное топливо	Электроэнергия
Капиталовложения, тыс. руб.	6000	7500	5000	4100
Затраты на амортизацию, тыс. руб.	420	525	350	287
Годовые затраты на текущий ремонт оборудования, тыс. руб.	84	105	70	57,4
Затраты на заработную плату штатного персонала, тыс. руб.	158	158	158	158
Затраты на топливо, тыс. руб.	233,7	765	1792	1100
Годовые эксплуатационные затраты в котельной, тыс. руб.	895,7	1553	2370	1602,4
Себестоимость выработанной тепловой энергии, руб./Гкал	4950	8580	13093	8855

На рис. 3 представлено сопоставление годового потребления топлива и себестоимости вырабатываемой электроэнергии для рассматриваемых видов топлива. Можно заме-

тить, что без значительного начального капитала выгоднее использовать систему на сжиженном газе, поскольку газопровод для природного газа требует больших вложений. Но следует учесть, что капитальные затраты на природный газ окупаются намного быстрее, чем СПГ.

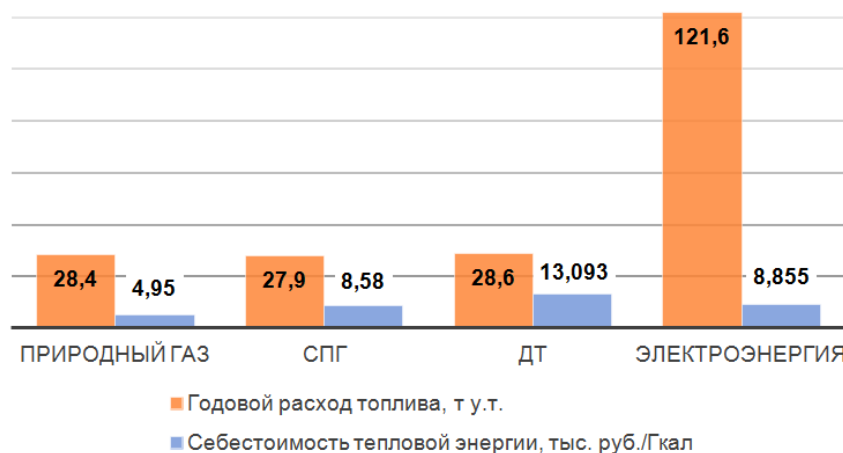


Рис. 3. Годовое потребление топлива и себестоимость вырабатываемой тепловой энергии

Себестоимость вырабатываемой тепловой энергии при использовании СПГ на котельных малой мощности выше, чем при использовании природного газа, но сопоставима с использованием электроэнергии. При росте цен на традиционные виды топлива и ужесточении экологических норм, СПГ остается привлекательной альтернативой для котельных как для крупных предприятий, так и для небольших объектов в отдаленных районах.

Заключение.

В результате технико-экономических расчетов получено, что себестоимость выработки тепловой энергии сопоставима с вариантом использования электродкотлов и составляет порядка 8580 руб./Гкал. Себестоимость вырабатываемой тепловой энергии при использовании природного газа в 1,7 раз ниже, но их строительство ограничено наличием магистральных газопроводов. Котельные, работающие на СПГ, не зависят от централизованного газоснабжения. Кроме того, существуют программы государственной поддержки, которые могут помочь предприятиям снизить затраты на переход к СПГ.

Применение СПГ не только экономически выгодно, но и дает значительные экологические выигрыши. Он позволяет снизить выбросы углекислого газа и других загрязняющих веществ в атмосферу по сравнению с углем и нефтью. В этом контексте переход на СПГ может стать важным шагом к достижениям целей Парижского соглашения и другим международным климатическим обязательствам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гончар, Г.** Производство СПГ в России должно вырасти в 4 раза к 2035 году [Электронный ресурс] / Г. Гончар // Ведомости. Промышленность. – 2023. – С. 15-20. – Режим доступа : https://www.vedomosti.ru/industry/energy_future/articles/2023/09/11/994392-proizvodstvo-spg-v-rossii-dolzno-virasti, свободный. – Загл. с экрана.
2. **Гатауллина, А. Р.** Повышение энергоэффективности системы газоснабжения за счет утилизации вторичных энергетических ресурсов: дис. канд. техн. наук : 25.00.19 / Алина Рудольфовна Гатауллина ; УГНТУ. – Уфа, 2016. – 184 с.
3. **Гатауллина, А. Р.** Сопоставление схем использования ДГА на ГРС с различными системами подогрева газа / А. Р. Гатауллина, Р. А. Молчанова // Трубопроводный транс-

порт: Материалы X Международной учебно-научно-практической конференции. – Уфа, 2015. – С. 359-362.

4. Эффективное использование энергетических потоков природного газа с отрицательной температурой, полученных в детандер-генераторных агрегатах / О. В. Кулагина, И. Р. Байков, А. Р. Гатауллина, Р. А. Молчанова // Глобальный научный потенциал. – 2014. – № 12(45). – С. 15-20.

5. Киселёв, И. Г. Использование сжиженного природного газа в производственно-отопительных котельных / И. Г. Киселев, В. Г. Заломин // Новости теплоснабжения. – 2013. – № 2 (150). – С. 29-32.

6. Пантеев, С. П. Технология сопутствующего производства СПГ и получения из продуктов сгорания котельной или ТЭЦ водяного конденсата и твёрдого углекислого газа / С. П. Пантеев, В. С. Малышев // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2023. – № 1(19). – С. 75-80.

7. Кириллов, Н. Г. Сжиженный газ как основа теплоснабжения. Перспективы использования сжиженного природного газа на котельных Министерства обороны Российской Федерации / Н. Г. Кириллов, В. К. Тучков, В. А. Вакуненко // Материально-техническое обеспечение Вооружённых Сил Российской Федерации. – 2024. – № 9(57). – С. 3-17.

8. Киселев, И. Г. Перспективы использования сжиженного природного газа в производственно-отопительных котельных железнодорожного транспорта / И. Г. Киселёв, В. Г. Заломин // Техника и технологии. – 2012. – № 4. – С. 4-6.

9. Тихомиров, А. В. Перевод промышленных котельных на СПГ с внедрением среднетоннажного СПГ-завода (локализация 90,3 %) / А. В. Тихомиров // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2021. – № 11. – С. 291-300.

Поступила в редакцию 4 апреля 2025

PROSPECTS OF USING LIQUEFIED GAS IN AUTONOMOUS BOILER HOUSES

A. R. Gataullina, V. A. Martiashova, N. D. Torosyan

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

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

Narek Davidovich Torosyan, student of Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, tel.: +7(347)242-03-70; e-mail: ntOrosyan@yandex.ru

The use of liquefied natural gas (LNG) is becoming especially relevant in the light of global climate change and the desire to switch to cleaner and more sustainable energy sources. Countries that are actively developing LNG infrastructure are reducing their dependence on traditional hydrocarbons, contributing to the formation of a more flexible and diversified energy system. The transfer of autonomous boiler houses from traditional energy resources to alternative fuels such as LNG is becoming increasingly relevant. The paper provides a technical and economic calculation of the feasibility of converting traditional autonomous low-power boilers to liquefied natural gas. It is proved that the transfer of a boiler house to LNG is economically efficient and expedient in terms of the cost of the generated thermal energy.

Keywords: natural gas; liquefied natural gas; autonomous heat supply; heating.

REFERENCES

1. **Gonchar G.** *LNG production in Russia should grow 4-fold by 2035*, *Vedomosti*. Industry. 2023. https://www.vedomosti.ru/industry/energy_future/articles/2023/09/11/994392-proizvodstvo-spg-v-rossii-dolzno-virasti, free. – Ver. from the screen. (in Russian)
2. **Gataullina A. R.** *Increasing the energy efficiency of the gas supply system through the utilization of secondary energy resources: dis. candidate of technical sciences*. Ufa, USPTU. 2016. 184 p. (in Russian)
3. **Gataullina A. R., Molchanova R. A.** *Comparison of schemes for using DGA at GDS with various gas heating systems* Pipeline transport: Proceedings of the X International educational-scientific-practical conference. Ufa, 2015. Pp. 359-362. (in Russian)
4. **Kulagina O. V., Baikov I. R., Gataullina A. R., Molchanova R. A.** *Efficient use of energy flows of natural gas with negative temperature obtained in expander-generator units*. Global scientific potential. 2014. No. 12(45). Pp. 15-20. (in Russian)
5. **Kiselev I. G., Zalomina V. G.** *Use of liquefied natural gas in industrial heating boiler houses*. Heat supply news. 2013. No. 02(150). Pp. 29-32. (in Russian)
6. **Pantelev S. P., Malyshev V. S.** *Technology of associated production of LNG and obtaining water condensate and solid carbon dioxide from combustion products of a boiler house or thermal power plant*. Bulletin of the Vologda State University. Series: Technical sciences. 2023. No. 1 (19). Pp. 75-80. (in Russian)
7. **Pantilev S. P., Malyshev V. S.** *Liquefied gas as a basis for heat supply. Prospects for the use of liquefied natural gas in boiler houses of the Ministry of Defense of the Russian Federation*. Material and technical support of the Armed Forces of the Russian Federation. 2024. No. 9(57). Pp. 3-17. (in Russian)
8. **Kiselev I. G., Zalomin V. G.** *Prospects for the use of liquefied natural gas in industrial heating boiler houses of railway transport*. Engineering and technology. 2012. No. 4. Pp. 4-6. (in Russian)
9. **Tikhomirov A. V.** *Transfer of industrial boiler houses to LNG with the introduction of a medium-tonnage LNG plant (localization 90.3 %)*. Economy: yesterday, today, tomorrow. 2021. No. 11. Pp. 291-300. (in Russian)

Received 4 April 2025

Для цитирования:

Гатауллина, А. Р. Перспективы использования сжиженного газа в автономных котельных / А. Р. Гатауллина, В. А. Мартяшева, Н. Д. Торосян // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 2(33). – С. 58-64. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.006.

FOR CITATION:

Gataullina A. R., Martiashova V. A., Torosyan N. D. *Prospects of using liquefied gas in autonomous boiler houses*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 58-64. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.006. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.007

УДК 628.214 / 621.65.03

АНАЛИЗ ПРИЧИН ОТКАЗА РАБОТЫ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ОТКРЫТОМ ВОДООТЛИВЕ

С. В. Григорьев, В. В. Помогаева

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

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

На примере открытого водоотлива угольного обводнённого карьера рассматриваются проблемы эксплуатации насосного оборудования. Описан принцип организации отведения дренажных вод из карьеров. Представлен анализ важнейших факторов, влияющих на процесс работы насосного оборудования: природные и климатические условия, режим работы, свойства жидкости. Показано, что климатические воздействия, которые начинаются с момента запуска насосного оборудования при неправильном монтаже напорных трубопроводов, продолжаются на всем этапе эксплуатации и влияют на отказ в работе. Детально изучены возможные причины отказа работы: брак оборудования, повреждение твердыми включениями, ошибки монтажа, режим работы насоса, отсутствие утепления трубопровода. Рассмотрены проблемы эксплуатации насосного оборудования. Предложены варианты улучшения работы насосного оборудования, которые помогут исключить отказы в работе и предотвратить поломку насосного оборудования. Даны рекомендации по улучшению режима работы насосов при открытом водоотливе.

Ключевые слова: дренажные воды; открытый водоотлив; климатическое воздействие; насосное оборудование; эксплуатация насосов.

Система отведения дренажных вод из карьеров является неотъемлемой частью горнодобывающей промышленности. При эксплуатации применяют различные методы осушения, отличающиеся схемой размещения оборудования, оценкой притоков воды в системе горных выработок как на стадии разведки, так и их промышленного освоения [1-5]. Разработка рациональной схемы осушения, с учетом интенсивного развития горнодобывающей промышленности, является актуальной проблемой [1-6]. Существуют различные схемы водоотведения:

- ✓ установка водоотливных сооружений на горизонте отработки в самом низком месте забоя с устройством водопонижающих скважин с глубинными насосами [2];
- ✓ подготовка зумпфа путем перебура на нижележащий горизонт [2];
- ✓ устройство зумпфа на горизонте, подготовленном опережающим вскрытием [2].
- ✓ прибортовой дренаж с траншеями, канавами и дренажными зумпфами [3];
- ✓ откачивание дренажных вод из водопонижающих колодцев и карьера [3].

Существуют поверхностный, подземный и комбинированный способы осушения [1...3]. Дренаж карьерных полей производится с использованием подземных выработок или системами водопонижающих скважин, которые оборудуют глубинными насосами. Также на карьерах осуществляется прибортовой дренаж, проходятся траншеи, канавы и устраиваются дренажные зумпфы. Применяют комбинации названных способов. Каждый способ дренажа может эффективно применяться в определенных условиях.

Глубокий дренаж целесообразен на месторождениях с устойчивыми по глубине гор-

ными породами с хорошей водопроницаемостью, большой мощностью и напором.

Инженерная защита карьеров от проникновения в них воды основана на создании протяженных фильтрационных завес, нагорных канав, предохранительных валов и дамб и непрерывном откачивании дренажных вод из водопонижающих колодцев и скважин [3]. Указанный комплекс мер позволяет исключить свободный сток в карьер поверхностных вод и снизить нормальные водопритоки в горные выработки на 70...80 %. Вместе с тем длительный интенсивный дренаж водоносных горизонтов способен вызывать фильтрационные деформации вмещающих пород, что осложняет ведение горных работ и приводит к серьезным экологическим проблемам. Поэтому показатель перехвата подземных вод на практике редко превышает 40...50 %. Основная нагрузка при борьбе с ливневыми, талыми, подземными и техническими водами, поступающими в чашу карьера, приходится на механизированный водоподъемный комплекс, включающий систему регулирования стока карьерных вод и насосные установки [3]. Схема водоотлива, регламентирующая расположение и порядок действия насосных установок [6], может быть открытой или подземной, центральной (главной) или участковой (вспомогательной), одноступенчатой или многоступенчатой, с индивидуальной или совместной работой насосных агрегатов, с промежуточным водосборником или без него, с подпором или без подпора насосов, с путевым отбором воды или без ее путевого отбора. Выбор энерго- и ресурсосберегающих схем и технических средств, а также использование на их основе наиболее рациональных способов подъема карьерных вод существенно расширяет возможности открытой разработки месторождений со сложными гидрогеологическими условиями, где стоимость выполнения всех видов дренажных работ составляет 15...20 % от общих вложений на строительство и эксплуатацию карьера [3].

Объектом исследования является система водоотлива угольного карьера. Разработка угольных месторождений открытым способом оказывает негативное воздействие на все составляющие природной среды, в том числе и на водные ресурсы. Существуют различные способы решения проблем негативного воздействия [1, 6, 7] и очистки дренажных вод, в рамках исследования данная проблема не рассматривалась. На объекте исследования применяется открытый водоотлив. Водосборник с насосной станцией расположен в обводненном карьере. Типовая схема насосной станции с нагнетательными трубопроводами, расположенными на понтоне, представлена на рис. 1.

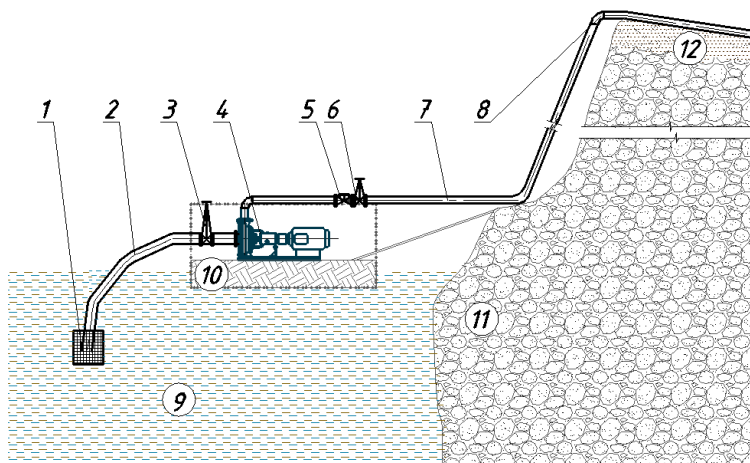


Рис. 1. Типовая схема станции водоотлива:

- 1 – приемная сетка; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – задвижка (затвор); 4 – насос; 5 – обратный клапан; 6 – задвижка (затвор); 7 – напорный трубопровод; 8 – колено; 9 – водосборник (обводненный карьер); 10 – понтон; 11 – борт карьера или отвал отработанной породы; 12 – спланированная территория

По типовой схеме открытого водоотлива насосная установка должна быть установлена над уровнем воды, при условии расположения оси насоса на высоте 1 м. Всасываю-

щий трубопровод (поз. 2, рис. 1) должен быть оборудован сеткой и размещен под водой, на глубине 1...3 м от поверхности воды, в зависимости от глубины водоприемника (поз. 9, рис. 1). Напорный трубопровод (поз. 7, рис.1) не должен иметь перегибов и провисаний. Всасывающий и напорный патрубки должны быть оборудованы запорно-регулирующей арматурой (поз. 3, 5, 6, рис. 1). Схема станции водоотлива, рассматриваемая в настоящей статье и реализованная на одном из объектов предприятия ООО «Приморскуголь» (филиал Разрезуправление «Новошахтинское»), представлена на рис.2. Рассматриваемая схема (рис. 2.) принципиально отличается от типовой: насос расположен под залив, имеется перегиб напорного трубопровода.

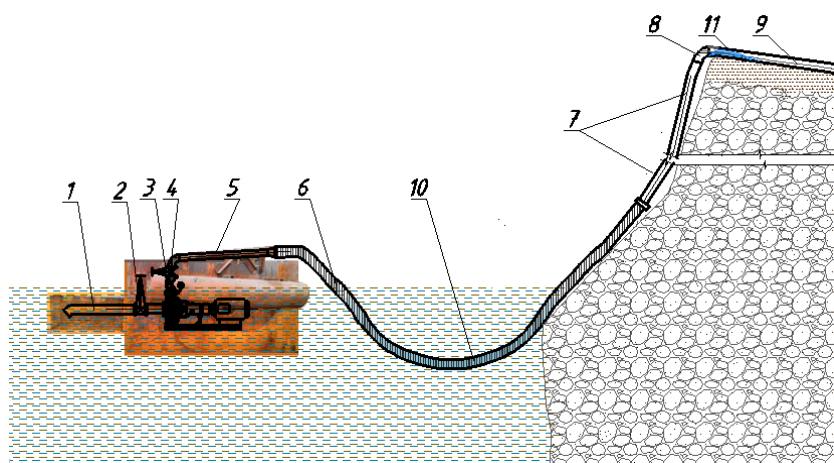


Рис. 2. Схема станции водоотлива рассматриваемого объекта:

- 1 – всасывающий трубопровод с приемной сеткой; 2 – задвижка (затвор) Ø200мм;
3 – обратный клапан Ø150мм; 4 – задвижка (затвор) Ø150мм; 5, 6, 7, 9 – напорный трубопровод;
8 – колено; 10, 11 – места намораживания воды

На понтоне установлен один горизонтальный центробежный химический насос АХН 400/80.2 315/6000/2900 со следующими характеристиками: подача 400 м³/час, напор – 80 м, мощность электродвигателя N = 160 кВт, частота вращения n = 1450 об/мин, напряжение 380 В. Допускаемый кавитационный запас равен 5,6 м. Насос выполнен с проточной частью из фторопласта Ф-50, с торцевым уплотнением. Диаметр рабочего колеса Ø500 мм. Всасывающий патрубок Ø200 мм и напорный патрубок Ø150 мм усилены металлическими накладками. Насос предназначен для перекачивания агрессивных жидкостей с твердыми включениями размером до 2-х мм и объемной концентрацией до 1,5 % при высокой абразивности и до 10 % при средней абразивности. Плотность перекачиваемой жидкости до 1830 кг/м³. Рабочая температура от -40 °С до +150 °С.

В зависимости от плотности перекачиваемой жидкости мощность двигателя стандартного насоса АХН Q/H.2 составляет при $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ N = 250 кВт, при $\rho = 1350 \text{ кг/м}^3$ N = 315 кВт.

Фотографии монтажа насоса внутри понтона представлены на рис. 3.

Электронасосный агрегат АХН 400/80.2 (№1) введен в эксплуатацию 14 декабря 2019 года. Отказ работы агрегата обнаружен 5 января, через 24 дня от начала работы. Второй насос АХН 400/80.2 (№ 2) был введен в работу 16 февраля 2019 года, отказ в работе обнаружен 26 февраля (через 10 дней работы). При эксплуатации оба насоса вышли из строя за короткое время. Необходимо установить причины отказа в работе насосов.

Согласно «Руководства по эксплуатации и монтажу» насос типа АХН Q/H.2 должен быть установлен на жестком фундаменте, не подверженном ударам и вибрациям. Наиболее надежными являются бетонные горизонтальные фундаменты, сооружаемые на прочном грунте, служащие жесткой опорой для всей плоскости основания агрегата, поглощающие нормальные напряжения и удары. Основание агрегата крепится к фундаменту

анкерными болтами. При эксплуатации насосов не допускается работа агрегата с незакрепленным на фундаменте основанием.

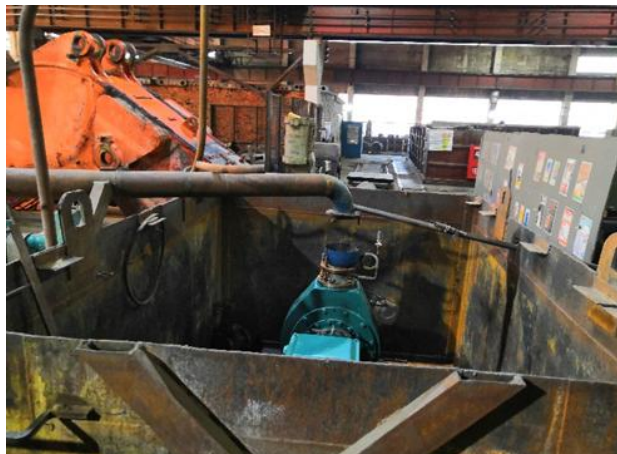


Рис. 3. Расположение электронасосного агрегата АХН 400/80.2 внутри понтона

Насосы установлены на понтоне, что могло привести к отказу в работе насосов.

Для решения возникшей проблемы и установления причин поломки были рассмотрены следующие гипотезы.

- ✓ детали насосов выполнены некачественно, допущен брак при изготовлении.
- ✓ насос поврежден при попадании твердых включений.
- ✓ напорный трубопровод недостаточно утеплен
- ✓ насос работает некорректно вследствие ошибок монтажа.
- ✓ насосы эксплуатируются некорректно.

Перечисленные гипотезы пересекаются, каждая из них может оказать влияние на отказ в работе насосных агрегатов. Рассмотрим каждую из гипотез.

Рассмотрение гипотезы 1: Детали насосов выполнены некачественно, допущен брак при изготовлении.

Если детали насоса выполнены с браком при их изготовлении, то это выявляется при технологическом контроле геометрических размеров специалистами отдела технического контроля, на этапе сборки и в процессе заводских гидравлических испытаний.

Материал, из которого изготовлены насосные агрегаты, соответствует целям их назначения с учетом предъявленных требований. Диаметр рабочего колеса с основными деталями, узлами, параметрами и характеристиками двигателя указанных насосных агрегатов соответствует требуемым характеристикам.

Если детали имеют скрытые дефекты, которые не были выявлены в процессе изготовления, то они могут иметь ограниченный ресурс работы и теоретически способны привести к поломке насоса. Однако по статистике эксплуатации насоса данного типоразмера на других предприятиях таких разрушений не наблюдалось за весь период с начала его продаж и по настоящее время. Кроме этого необходимо отметить:

- ✓ два насоса поломались через короткое время с начала эксплуатации;
- ✓ у обоих насосов были разрушены уплотнения;
- ✓ на одном насосе разрушено уплотнение и вал.

Фотография разрушенного уплотнения насоса АХН 400/80.2 (№ 2) приведена на рис. 4.

Проведение необходимого материаловедческого анализа разрушенных деталей позволило бы выявить наличие в них скрытых дефектов. Однако это выполнить не возможно из-за их физического отсутствия. Поэтому остается только вариант рассмотрения наиболее вероятных и обоснованных предпосылок, которые могут привести к разрушению. Учитывая, что в обоих случаях разрушилось уплотнения и только в одном случае вал, то

естественно предположить, что при разрушении насоса первоначально разрушаются уплотнительные кольца (пара трения) уплотнения. Было предположено, что излом втулки защитной происходит вследствие изменения температуры в корпусе при эксплуатации насоса. Разрушение возникает из-за разницы в величине термического расширения стали и карбида кремния. При правильной эксплуатации агрегатов АХН 400/80.2 температура перекачиваемой жидкости не должна превышать 80 °С. Температурный параметр может повлиять на разрушение деталей насоса.

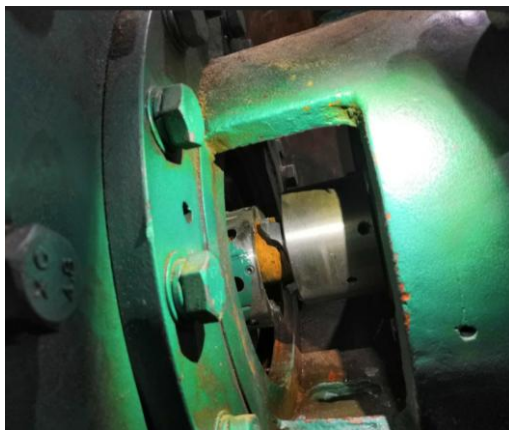


Рис. 4. Фотография разрушенного уплотнения насоса АХН 400/80.2 (№ 2)

Рассмотрение гипотезы 2: Насос поврежден при попадании твердых включений.

Так как насосная установка работает со сбросными дренажными водами, то в рабочее колесо могли попасть твердые включения. Поступающие воды от угольных шахт содержат минеральные и гранулометрические примеси, которые отрицательно влияют на работу оборудования и долговечность насосов водоотлива, поэтому при работе необходимо учитывать состав вод [9...12].

По запросу был выполнен анализ качества воды. Результаты показали, что взвешенные вещества составляют 16 мг/л, железо общее растворенное – 1,69 мг/л, алюминий – 0,12 мг/л, цинк – 0,55 мг/л. Прозрачность более 30 см, запах землистый – 3 балла, среда кислая – pH 5,01.

Определение плотности воды в зависимости от ее температуры показано в таблице.

Контролируема жидкость	Плотность жидкости				
	Плотность, кг/м ³ , при температуре воды				
	+4 °С	+10 °С	+20 °С	+30 °С	+55 °С (расчетная*)
чистая вода	999,9	999,7	998,2	995,6	985,6
перекачиваемая жидкость	1018,7	1018,0	1016,0	1013,1	1002,9

Примечание: (расчетная*) – температура, принятая при расчете и подборе насосов.

Расчетная температура +55 °С была принята из условия, что после часа работы температура вала и втулки насоса равна температуре подшипников насоса и составляет $T_n = 55$ °С. Конечная максимальная температура вала и втулки в районе торцового уплотнения составляет $T_m = 80$ °С, в соответствии с «Руководством по эксплуатации и монтажу насоса». При корректной эксплуатации максимальное значение температуры не достигается.

Плотность дренажной воды по сравнению с расчетной увеличилась не более чем на 2 %. Насосы АХН Q/H.2 предназначены для работы при плотности перекачиваемой жидкости до 1830 кг/м³. Качество воды не могло повлиять на работу насоса, так как взвешенных веществ содержится небольшое количество.

Следующее предположение: в рабочее колесо насоса могли попасть камни. При монтаже насосных установок, перед всасывающим патрубком должна быть установлена

решетка, исключающая попадания крупных камней. При запросе был дан ответ, что решетка стоит. Обследование показало, что проходные сечения (прозоры) решетки отличаются от рекомендованной производителем и составляют не менее 3 см. На рис. 5 представлены фотографии решетки (фильтра) на понтоне на входе в насос. В этом случае попадания камней в корпус насоса возможно.



Рис. 5. Внешний вид решетки (фильтра) на понтоне на входе в насос

Рассмотрение гипотезы 3: Напорный трубопровод недостаточно утеплен.

При прокладке напорного трубопровода от насосной установки, на горизонтальных участках он должен быть проложен с уклоном, для опорожнения, при периодической работе насосов. Также требуется утепление трубопровода. При исследовании было установлено, что трубопровод проложен по поверхности земли с уклоном без утепления. Анализ температурных данных (рис. 6) в период запуска и работы насосной установки показывает, что температура была ниже нуля.

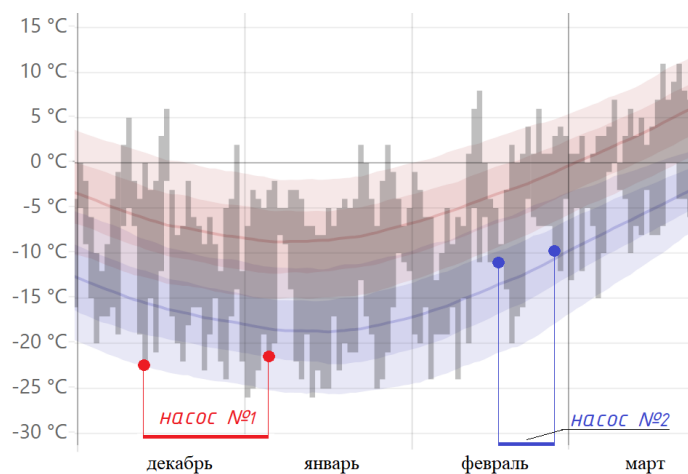


Рис. 6. Ежедневный диапазон температур за исследуемый период
[Архив погоды, Россия – Weather Spark]

В период запуска и работы насосной установки с насосом №1 в ночное время температура понижалась до -25°C , с насосом №2 до -20°C (рис. 6).

При периодической работе насосов (включение-выключение), в трубопроводе, при неполном их опорожнении, возникает наледь, которая далее намораживается и образуется ледяная пробка. Место намораживания ледяной пробки возможно за коленом (поз. 10, 11, рис. 2). В этом случае насос может создавать видимость работы - электродвигатель запускается, но перекачивание жидкости не происходит. Обнаружение такой проблемы возможно только через некоторое время, в случае если отсутствует мониторинг поступления перекачиваемой жидкости на очистку или в хранилище дренажных вод.

Таким образом, отсутствие утепления трубопровода, периодическое включение и выключение насосов может привести к отказу в работе.

Рассмотрение гипотезы 4: Насос работает некорректно вследствие ошибок монтажа.

При монтаже оборудования температура воздуха в районе водосборника в дневное время составляла -5, -9 °С, в ночное -14 °С, -18 °С. Температура перекачиваемой жидкости +3 °С. Монтаж и наладка производилась в сложных климатических зимних условиях.

Монтаж агрегатов АХН 400/80.2 осуществлялся на плавучем понтоне. Насосный агрегат и задвижки (поз. 2, 3, 4, рис. 2), имеют жёсткое крепление, что соответствует требованиям монтажа. При монтаже использовалась кран-балка, имеющая большой люфт, вследствие чего мог быть поврежден вал и керамический уплотнитель.

Всасывающий стальной трубопровод Ø219мм (поз. 1 рис. 2) осуществляет забор перекачиваемой жидкости с небольшой глубины, размер ячеек сетки более 3 см, что не позволяет предотвращать попадания крупных включений в корпус насоса. В зимний период возможно попадание шуги в корпус насоса.

На напорном трубопроводе отсутствует расходомер, позволяющий фиксировать подачу воды. Установлен манометр для фиксации напора. Напорный трубопровод Ø219мм протяженностью $L = 540$ м, геометрическая высота подъема $H = 41$ м выполнен из стальных труб (поз. 7, 8 рис. 2). Переход от напорного патрубка до вертикальной части трубы выполнен из гибкого армированного рукава (поз. 10, рис. 2). При транспортировке жидкости возникает перепад высот между выходом «понтонной» части и входом в «карьерную» часть напорного трубопровода. Фактически образуется гидравлический затвор, имеющий значительное (до 2 м) занижение после понтона, с постоянным наличием воды в нем (поз. 10, рис. 2).

Для опорожнения напорного трубопровода отсутствует арматура, позволяющая сливать воду в низшей точке, что может привести к замораживанию её в зимний период. На горизонтальном участке (поз. 9, рис. 2) трубопровод не утеплен.

Рассмотрение гипотезы 5: Насосы эксплуатируются некорректно.

Подключение и запуск насосной установки было выполнено в следующей последовательности:

- 1) подготовительные работы:
 - ✓ подключение высоковольтного кабеля КГПЭ-ХЛ к электродвигателю;
 - ✓ выполнена проверка направления вращения электродвигателя – вращение соответствует направлению (стрелке) на корпусе насоса;
 - ✓ пробный запуск и остановка насосного агрегата выполнен в последовательности, описанной в руководстве по эксплуатации.

- 2) выполнен замер вибрации насосного агрегата прибором «Виброанализатор СД-21» Вибрация составила 1 мм/с, что является нормой для данного типа машин.

- 3) выполнен замер температуры подшипников насоса и электродвигателя прибором «Камера инфракрасная портативная Flir E40». Температура составила +54 °С после 1 часа работы, что является нормой.

- 4) давление в напорном трубопроводе, определенное по манометру, составляет 8(ати)кг/см², что является нормой.

- 5) замер производительности на выходе производительность составляет 400 м³/час, что соответствует номинальным параметрам. При этом отсутствует информация о приборном обеспечении при замере производительности насосы на выходе, следовательно, водомер не был установлен.

В «Акте монтажа и наладки насосной установки», полученной при исследовании, приводятся следующие данные:

- ✓ установки готовы к предъявлению приемочной комиссии и сдаче в эксплуатацию после отработки 24 часов. Всё соответствует требованиям нормативно-технической документации;
- ✓ насосные агрегаты отработали по 24 часа и были сданы в эксплуатацию;

- ✓ температура воздуха в районе водосборника – 9 °С, в дневное время, -18 °С в ночь (насосная установка № 1);
- ✓ температура воздуха в районе водосборника – 5 °С в дневное время, -14 °С в ночь (насосная установка № 2);
- ✓ дается подробная информация о приборном обеспечении при замере вибраций, температуры подшипников насоса, давления в напорном трубопроводе.

Таким образом, представленные акты дают основание полагать, что запуск и наладка насосного оборудования выполнена в соответствии с «Руководством по эксплуатации и монтажу насосной установки». При этом отсутствует информация о приборном обеспечении при замере производительности насосов на выходе, но указаны паспортные характеристики – 400 м³/час.

При анализе расчета обнаружено, что насос планировался использоваться на 50 % подачи, при этом отсутствует оборудование для регулирования оборотов колеса насоса. Такой расход может быть достигнут только при частичном перекрытии задвижки, на всасывающем трубопроводе (поз. 1, рис. 2). При частично открытой задвижке (поз. 2, рис. 2), благодаря разнице давлений и крутящему моменту, возникает дисбаланс на рабочем колесе, который может привести к изгибу вала. Так же в рабочем колесе создается разрежение. Соответственно «регулирование» работы насоса задвижкой могло привести к его поломке.

При работе в случае увеличения шума, вибрации, появления утечки, и при температуре корпуса подшипников более 70 °С, агрегат необходимо остановить и устранить неисправность. Так как насосная установка расположена на большом расстоянии от места размещения персонала, то приведённые неисправности невозможно определить своевременно. Каждая из перечисленных неисправностей может привести к отказу в работе насоса.

Периодическое отключение насоса, отсутствие слива дренажной воды, приводит к образованию ледяной пробки, что в дальнейшем влияет на работу насоса.

Период работы насосов № 1 и № 2 от запуска до их остановки примерно одинаков. Этим соответственно подтверждается факт нарушения эксплуатации оборудования.

Рекомендации по предотвращению аварийных ситуаций.

Подбор насоса должен выполняться в строгом соответствии с его задачами. Обязка насоса должна соответствовать требованиям, предъявляемым к назначению и области применения насосного оборудования. Насос не сможет перекачивать рабочую среду без ее наличия в проточной части в момент запуска, не сможет длительно нормально работать при его эксплуатации вне своего рабочего диапазона, указанного в паспорте и руководстве по эксплуатации.

Исключить работу в режиме ограниченного расхода или его полного отсутствия. Неправильный монтаж трубопроводов, увеличение температуры жидкости, уменьшение уровня жидкости в питающей емкости, перекачивание сильно загрязненных жидкостей могут привести к разрушению уплотнений в насосе. Нагрев жидкости в проточной части приводит к серьезному повреждению насоса за короткий промежуток времени.

В рассматриваемом объекте, для предотвращения аварийных ситуаций можно рекомендовать:

- ✓ утеплить трубопровод на горизонтальном участке или предусмотреть систему опорожнения горизонтального участка, расположенного на поверхности карьера.
- ✓ предотвратить провисание напорного трубопровода выполненного из гибкого армированного рукава.
- ✓ предусмотреть арматуру для опорожнения напорного трубопровода. Особенно данная рекомендация актуальна в зимний период, при отключении насоса.
- ✓ при эксплуатации необходимо выполнять замеры технических параметров, характеризующих работу насосного оборудования в требуемом рабочем диапазоне.

✓ предусмотреть регулирующую арматуру на напорном трубопроводе после насоса для обеспечения его работы в рабочем диапазоне энергетических характеристик в соответствии с паспортом.

Заключение.

В результате анализа причин отказа работы насосного оборудования при открытом водоотливе, был выявлен ряд факторов, которые влияют на работу системы насос-трубопровод. Одной из причин отказа работы насоса является образование «наледи» и «ледяных пробок» в трубопроводе. Это произошло из-за ошибок монтажа и эксплуатации напорного трубопровода: не предусмотрен слив воды из трубопровода, не предусмотрено утепление горизонтального участка, наличие участков постоянно заполненных водой.

Установлено, что при отрицательной зимней температуре перекачиваемая насосами дренажная вода замерзает при выключении насосов. В таких обстоятельствах может произойти существенное ухудшение условий транспортировки перекачиваемой воды с перекрытием проходного сечения трубопровода, что приведет к увеличению гидравлических потерь и к значительному уменьшению расхода перекачиваемой жидкости или к ее полному прекращению. Такой режим работы насоса может привести к «вскипанию» жидкости находящейся в проточной части насоса, повышению температуры и разрушению деталей насоса.

По совокупности проведенных исследований, можно сделать вывод, что причина разрушения насосных агрегатов непосредственно связана с некорректным монтажом и эксплуатацией в сложных зимних условиях и имеет эксплуатационный характер.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обоснование рациональных способов и схем осушения месторождений полезных ископаемых / И. В. Быстрова, Т. С. Смирнова, Д. А. Бычкова, М. С. Мелихов // Астраханский вестник экологического образования. – 2018. – № 1(43). – С. 45-50.
2. **Алькова, Е. Л.** Повышение эффективности осушения глубоких кимберлитовых карьеров за счет рациональной системы водоотлива / Е. Л. Алькова, С. П. Альков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № S2. – С. 183-187.
3. **Морин А. С.** Карьерные водоотливные установки с путевым отбором воды / А. С. Морин, В. И. Мигунов, К. А. Штреслер, В. Т. Чесноков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2024. – № 3. – С. 130-140. – DOI 10.25018/0236_1493_2024_3_0_130.
4. **Тальгамер, Б. Л.** Водоотведение при разработке угольных месторождений по восстанию с внутренним отвалообразованием / Б. Л. Тальгамер, Ю. Г. Рославцева // Уголь. – 2020. – № 12(1137). – С. 7-10. – DOI 10.18796/0041-5790-2020-12-7-10.
5. **Юсупов, Т. И.** Преимущества использования шахтных водоотливных установок, оборудованных центробежными насосами / Т. И. Юсупов // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: Уральская горнопромышленная декада: сборник докладов X Международной научно-технической конференции, Екатеринбург, 20...21 мая 2021 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2021. – С. 146-150.
6. **Ogbonnaya J. E.** Challenges of quarrying activities for sustainable quality water resources in abakaliki and environs / J. E. Ogbonnaya, P. O. Phil-Eze // Journal of Geography, Meteorology and Environment. – 2020. – Vol. 3. – No. 1. – Pp. 61-83.
7. **Дрововозова, Т. И.** Современные экологические проблемы эксплуатации коллекторно-дренажной сети и пути их решения / Т. И. Дрововозова // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т. 14. – № 2. – С. 211-235. – DOI 10.31774/2712-9357-2024-14-2-211-235.

8. **Долганов, А. В.** Режимы работы центробежных насосов при откачивании шахтных вод // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности XIII Международной научно-технической конференции. Сер. «Чтения памяти В.Р. Кубачека»: сб. науч. ст. – Екатеринбург, 2015. – С. 54-57.

9. **Wang Z.** Dust pollution in cold region Surface Mines and its prevention and control / Z. Wang, W. Zhou, I. M. Jiskani, X. Ding, H. Luo // Environmental Pollution. – 2022. – Vol. 292. – article 118293. – DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118293.

10. **Атрощенко, В. А.** Влияние гидроабразивного износа на ресурс насосного оборудования для перекачки хвостов обогащения / В. А. Атрощенко, Э. К. Абдулаев, А. И. Кужелев // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2020: Сборник тезисов. Секция «Круглый стол молодых ученых» VII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 23...24 апреля 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2020. – С. 32-26.

11. **Долганов, А. В.** Гидроабразивный износ и экономичность водоотливных установок шахт и рудников / А. В. Долганов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S9. – С. 3-8. – DOI 10.25018/0236-1493-2019-5-9-3-8.

12. **Малашкина, В. А.** Исследования влияния качества воды на выбор насосного оборудования для водоотливных установок / В. А. Малашкина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S10. – С. 72-81. – DOI 10.25018/0236-1493-2019-5-10-72-81

Поступила в редакцию 19 мая 2025

ANALYSIS OF THE CAUSES OF PUMPING EQUIPMENT FAILURE IN OPEN DRAINAGE

S. V. Grigoriev, V. V. Pomogaeva

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

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

In the article we consider the problems of operating pumping equipment on the example of an open drainage of a coal-flooded quarry. We describe the principle of organization of water drainage from quarries. We analyze the most important factors influencing the process of pumping equipment operation: natural and climatic conditions, operating mode, liquid properties. It is shown that the climatic effects, that begin from the moment the pumping equipment is started up, in case of improper installation of pressure pipelines continue throughout the entire operation stage and affect the failure of operation. We have studied in detail possible reasons for the failure of the operation: defective equipment, damage by solid inclusions, installation errors, pump operation mode, lack of pipeline insulation. The article considers as well problems of operation of pumping equipment. We propose the options for improving the operation of pumping equipment, which will help eliminate failures in operation and prevent damage to pumping equipment. We also give some recommendations to improve the operation of pumps with open drainage.

Key words: drainage water; open drainage; climatic impact; pumping equipment; pump operation.

REFERENCES

1. **Bystrova I. V., Smirnova T. S., Bychkova D. A., Melikhov M. S.** *Substantiation of rational methods and schemes of drainage of mineral deposits.* Astrakhan Bulletin of Environmental Education. 2018. No. 1(43). Pp. 45-50. (in Russian).
2. **Alcova E. L., Alcov S. P.** *Improving the efficiency of drainage of deep kimberlite quarries due to a rational drainage system.* Mining information and analytical bulletin. 2008. No. S2. Pp. 183-187. (in Russian).
3. **Morin A. S., Migunov V. I., Streessler K. A., Chesnokov V. T.** *Quarry drainage installations with track water extraction.* Mining information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). 2024. No. 3. Pp. 130-140. (in Russian).
4. **Talgamer B. L., Roslavitseva Yu. G.** *Drainage during the development of coal deposits in Vosstaniya with internal dumping Coal.* 2020. No. 12(1137). Pp. 7-10. (in Russian).
5. **Yusupov T. I.** *Advantages of using mine drainage installations equipped with centrifugal pumps.* Innovative geotechnologies in the development of ore and non-metallic deposits: Ural Mining Decade: collection of reports of the X International Scientific and Technical Conference, Yekaterinburg, May 20-21, 2021. Yekaterinburg. Ural State Mining University, 2021. Pp. 146-150. (in Russian).
6. **Ogbonnaya J. E., Phil-Eze P. O.** *Challenges of quarrying activities for sustainable quality water resources in abakaliki and environments* // Journal of Geography, Meteorology and Environment. 2020. Vol. 3. No. 1. Pp. 61-83. (in English).
7. **Drovovozova T. I.** *Modern environmental problems of reservoir-drainage network and ways to solve them.* Land reclamation and hydraulic engineering. 2024. Vol. 14. No. 2. Pp. 211-235. (in Russian).
8. **Dolganov A. V.** *Operating modes of centrifugal pumps during pumping of mine waters.* Technological equipment for mining and oil and gas industry of the XIII International Scientific and Technical Conference. Series. «Readings in memory of V.R. Kubachek»: collection. Scientific Article. Yekaterinburg, 2015. Pp. 54-57. (in Russian).
9. **Wang Z., Zhou W., Jiskani I. M., Ding X., Luo H.** *Dust pollution in cold region Surface Mines and its prevention and control* // Environmental Pollution. 2022. Vol. 292, article 118293. DOI: 10.1016/J.envpol.2021.118293.
10. **Atroschenko V. A., Abdulaev E. K., Kuzhelev A. I.** *The influence of waterjet wear on the resource of pumping equipment for pumping enrichment tailings.* Innovations and prospects for the development of mining engineering and electromechanics: IPDME-2020: Collection of abstracts. Section "Round table of young Scientists" of the VII International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, April 23-24, 2020. Saint Petersburg: Saint Petersburg Mining University. 2020. Pp. 32-26. (in Russian).
11. **Dolganov A. V.** *Waterjet wear and efficiency of drainage installations of mines and mines.* Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2019. No. S9. Pp. 3-8. (in Russian).
12. **Malashkina V. A.** *Studies of the influence of water quality on the choice of pumping equipment for drainage installations.* Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). 2019. No. S10. Pp. 72-81 (in Russian).

Received 19 May 2025

Для цитирования:

Григорьев, С. В. Анализ причин отказа работы насосного оборудования при открытом водоотливе / С. В. Григорьев, В. В. Помогаева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 2(33). – С. 65-75. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.007.

FOR CITATION:

Grigoriev S. V., Pomogaeva V. V. *Analysis of the causes of pumping equipment failure in open drainage.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 65-75. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.007. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.008

УДК 621.643.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДА ПРИ НАЛИЧИИ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОЙ ВРЕЗКИ

Н. А. Петрикеева, И. А. Серикова, А. Д. Петрикеев

Петрикеева Наталья Александровна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия, тел.: +7(952)101-72-96; e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru

Серикова Ирина Алексеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия, тел.: +7(951)549-19-57; e-mail: iserikova@cchgeu.ru

Петрикеев Александр Дмитриевич, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия, тел.: +7(951)569-56-20; e-mail: petrikeefff@gmail.com

Главной опасностью для оперативного транспорта нефти и нефтепродуктов являются утечки и несанкционированные врезки. По различным оценкам, общие потери нефти и нефтепродуктов вследствие аварий на магистральных нефтепроводах нефтепродуктопроводах и утечек в окружающую среду составляют от 1 до 5 миллионов тонн ежегодно. Приводятся результаты моделирования гидравлического режима работы магистрального трубопровода с утечкой, являющейся прототипом несанкционированной врезки. Представлены гидравлические характеристики линейной части без врезки и при ее наличии, а также суммарная расходно-напорная характеристика нефтеперекачивающей станции. Показано, что расход в линейной части после врезки уменьшается, при этом дифференциальные напоры станций увеличиваются, так как насосы развивают больший напор при меньшей подаче. Гидравлический уклон перегона уменьшается, линия гидроуклона становится более полой, чем при проектном режиме. Отмечено, что полученную графическую зависимость смогли наблюдать в диспетчерском пункте только на четырнадцатый день отбора из врезки, так как при одновременном отборе нефтепродукта может осуществляться закачка воды в систему.

Ключевые слова: нефтепродукты; трубопроводы, утечка, несанкционированный отбор, моделирование, гидравлическая характеристика.

Суммарные потери от утечек и несанкционированных врезок в магистральные трубопроводы составляют не менее 70 миллиардов рублей в год. Такое положение дел стало угрожающим для топливно-энергетического комплекса России, поэтому многие компании начали внедрять системы непрерывного дистанционного контроля за техническим состоянием трубопровода с целью сокращения ущерба, а также обеспечения безопасности объектов трубопроводного транспорта [1].

Технологическая утечка – нарушение герметичности магистрального нефтепровода или нефтепродуктопровода, вызванное превышением максимального рабочего давления в нефтепроводе, коррозией нефтепровода или искусственным его повреждением техникой при проведении строительно-монтажных работ вблизи трассы нефтепровода [2].

Причинами потерь нефти и нефтепродуктов вследствие нарушения герметичности стенки трубопровода являются:

- ✓ износ трубопровода из-за продолжительного срока эксплуатации;
- ✓ коррозия трубопроводов;
- ✓ механические повреждения при работе транспорта и строительно-монтажных работах;

© Петрикеева Н. А., Серикова И. А., Петрикеев А. Д., 2025

- ✓ механические воздействия при проведении земляных работ;
- ✓ дефекты труб, материалов и элементов трубопроводов;
- ✓ организационные ошибки (несовершенство технологий, ошибки в документации, ошибки персонала при эксплуатации, нарушения порядка проведения опасных работ);
- ✓ несанкционированные врезки;
- ✓ стихийные явления природного происхождения.

В большинстве случаев образованию утечки предшествует одновременное воздействие нескольких вышеперечисленных факторов. И, все же значительное количество аварий с утечками нефти и нефтепродуктов из магистральных трубопроводов происходит по причине износа трубопроводных систем, ведь 68 % магистральных трубопроводов находятся в эксплуатации более двадцати лет. Отдельно хотелось бы затронуть вопрос несанкционированных врезок в магистральные нефтепроводы и нефтепродуктопроводы.

Несанкционированная врезка – это нарушение герметичности магистрального трубопровода лицами, не являющимися сотрудниками предприятия, эксплуатирующего данный объект, с целью хищения перекачиваемого продукта. Данные мероприятия сопровождаются воздействиями на трубопровод с использованием различных инструментов, утечками нефти (нефтепродукта) в окружающую среду и, как следствие, наносят экономический ущерб компаниям, эксплуатирующим трубопровод, а также, в ряде случаев, экологический ущерб.

Как отмечено в ряде работ, например [2...4], проблема несанкционированных врезок достигла своего пика в 2006 году, тогда их количество превышало 1000 инцидентов в год. В последнее время эта цифра стабилизировалась и не превышает 300 случаев в год. На сегодняшний день чаще распространены врезки в нефтепродуктопроводы, нежели в трубопроводы с сырой нефтью [3, 5]. Объем утечек нефти и нефтепродуктов не определен с достаточной степенью точности.

Согласно РД 153-39.4-060.00, квалифицированная несанкционированная врезка – отверстие в теле трубопровода или его арматуре с присоединенным приспособлением для кражи нефти или нефтепродукта – патрубком, снабженным запорным устройством, а также с возможностью подключения шлейфа.

Рассмотрим моделирование работы магистрального нефтепродуктопровода при наличии несанкционированной врезки.

Объект исследования – магистральный нефтепродуктопровод (МНПП).

Способ прокладки нефтепровода – подземный.

Регион прокладки нефтепровода – Тамбовская, Воронежская и Белгородская области.

Технологический участок «Никольское-I – Белгород» является частью магистрального нефтепродуктопровода, входящего в систему нефтепродуктопроводов АО «Транснефть – Дружба». Технологический участок включает в себя две перекачивающие станции: ЛПДС «Никольское-I» (головная станция), ЛПДС «Воронеж» (промежуточная) и конечный пункт ЛПДС «Белгород».

Общая протяженность технологического участка составляет 487 километров.

Для исследования магистрального нефтепродуктопровода в данной работе были заданы стандартные исходные данные: климатология, расчетные параметры по сети и пр.

Несанкционированную врезку (НСВ) смоделируем в точке $x = 117$ км линейного участка «Никольское-I – Воронеж» МНПП «Никольское-I – Белгород». Врезка является квалифицированной, с длиной шлейфа $l_{\text{ш}} = 761$ м и внутренним диаметром $d_{\text{ш}} = 16$ мм. Высотная отметка трубопровода в месте врезки $z_* = 150,0$ м. Перепад высот конца и начала шлейфа составил $\Delta z = -2,44$ м.

Так как коэффициент гидравлического сопротивления шлейфа неизвестен, найдем его методом итераций. Результаты итерационного расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты метода последовательных итераций

№ итерации	Коэффициент гидравлического сопротивления шлейфа принятый $\lambda_{ш}$	Объемный расход нефтепродукта через врезку $q, м^3/с$	Скорость отбора из шлейфа, $V_{ш}, м/с$	Критерий Рейнольдса Re	Коэффициент гидравлического сопротивления шлейфа уточненный $\lambda_{ш}$
1	0,02	0,00057	2,81	3497	0,0183
2	0,0183	0,00059	2,94	3655	0,0175
3	0,0175	0,00061	3,01	3737	0,0171
4	0,0171	0,00061	3,04	3778	0,0169
5	0,0169	0,00062	3,06	3799	0,0168

Принимаем окончательно коэффициент гидравлического сопротивления шлейфа $\lambda_{ш} = 0,0168$, дальнейшие вычисления проводим при этом значении. Воспользовавшись стандартной методикой согласно РД 153-39.4-060.00, и проведя соответствующие расчеты, можем построить гидравлическую характеристику линейной части (ЛЧ) нефтепродуктопровода при сбросе и гидравлическую характеристику нефтеперекачивающей станции (НПС), а затем определим рабочую точку [6].

Суммарные потери на всем технологическом участке найдем путем суммирования потерь в левой части трубопровода, т.е. до точки врезки нефтепродукта, и потерь в правой части трубопровода (после хищения какого-то количества продукта).

По полученным расчетным данным построим изменение гидравлических характеристик трубопровода при наличии врезки (рис. 1).

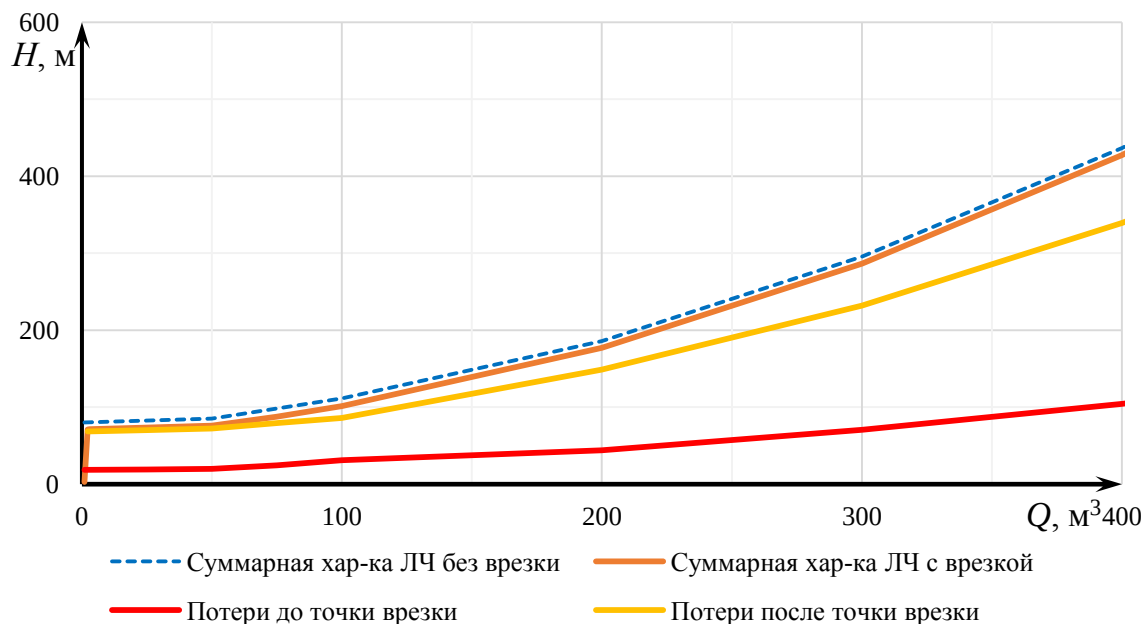


Рис. 1. Гидравлическая характеристика линейной части при наличии НСВ

На рис. 1 синей пунктирной линией показана гидравлическая характеристика нефтепродуктопровода при нормальном режиме без врезки. Для того, чтобы построить гидравлическую характеристику при наличии врезки мы разделяем трубопровод на два участка: до точки врезки и после. Гидравлическая характеристика до точки с врезкой приведена красным цветом на графике. На участке после врезки характеристика отличается – на

графике она представлена желтым цветом. Она выходит не из нуля, а из точки, которая соответствует расходу отбора из несанкционированной врезки, так как при расходе в системе меньше q , по участку после врезки ничего не перекачивается. Если просуммировать красную и желтую линию (соответствующие значения), мы получаем, что итоговая характеристика на участке от нуля до q равна характеристике до места врезки, а на участке после врезки она получается смещенной и проходит ниже, чем характеристика МНПП без отбора.

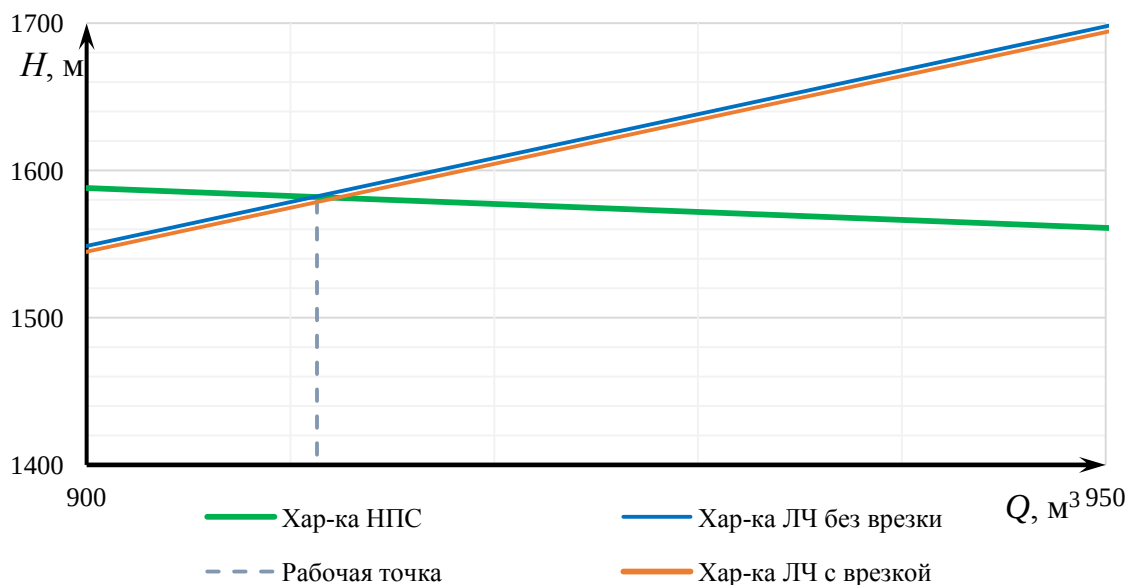
В табл. 2 представлены данные гидравлического расчета участков трубопровода до и после точки сброса.

Таблица 2

Гидравлический расчет левого и правого участков

Расход нефтепродукта до сброса, Q_* , м ³ /ч	Напор от начала технологического участка до точки отбора, Σh_{1-3} , м	Расход нефтепродукта после сброса, Q_{**} , м ³ /ч	Напор от точки отбора до конца технологического участка, $\Sigma h_{3-кп}$, м	Напор на рассматриваемом технологическом участке, Σh , м	Полный напор на участке ΣH , м
1	2	3	4	5	6
0	60	-	-	-	-
126	79,6	-	-	80	1623
127	79,9	1	-90	-10	3873
1000	811	874	835	1645	3231
1100	947	974	1026	1974	3094
1200	1094	1074	1235	2328	2944
1313	1270	1187	1489	2759	2759
1400	1414	1274	1820	3320	2513

Построим графики суммарной характеристики линейной части при номинальном режиме работы трубопровода, суммарной характеристики линейной части при несанкционированном отборе топлива, расходно-напорную характеристику НПС (рис. 2).

Рис. 2. Совмещенная Q - H характеристика НПС и линейной части при врезке

На рис. 2 можно заметить, что рабочая точка сместилась вправо. Далее мы принимаем подачу в данной рабочей точке равной подаче в левой части трубопровода, т.е. до места врезки, а подачу в правой части трубопровода найдем как разность расхода до точки врезки и расхода самого отбора. Исходя из графика, подача в рабочей точке составит $Q_* = 911,2 \text{ м}^3/\text{ч}$.

После проведения расчета до и после места врезки (утечки) построим соответствующий график (рис. 3), на котором представлен гидравлический режим работы магистрального нефтепродуктопровода (МНПП) при наличии врезки.

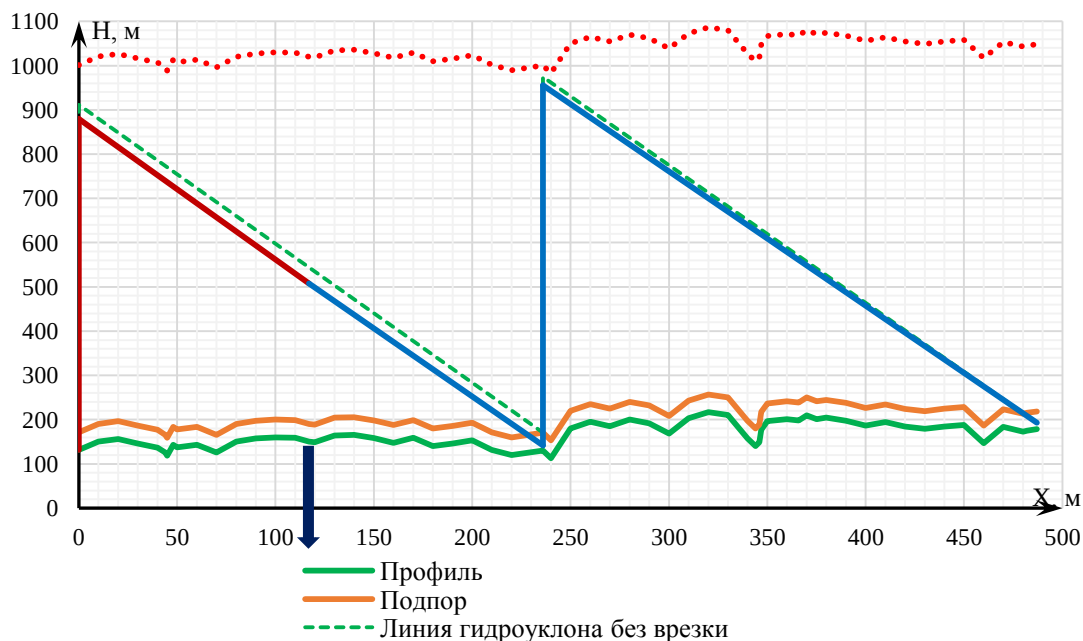


Рис. 3. Режим работы МНПП при отборе из врезки

Очевидно, что этот режим является неприемлемым, поскольку, как только давление на входе в нефтеперекачивающую станцию достигнет значения величины уставки по допустимому минимальному давлению, система автоматики НПС начнет прикрывать заслонку системы автоматического регулирования давления [6, 7].

Отмечены реальные случаи, когда при несанкционированном отборе осуществлялась закачка воды в систему. При этом она была организована таким образом, что приходила на станцию не в момент отбора проб оператором, а со смещением по времени [6, 8]. При работающем нефтепродуктопроводе товарный оператор отбирает ходовую пробу на приеме магистрального нефтепродуктопровода каждый четный час. При анализе статистических данных в ходе данного исследования был отмечен подобный прием. При этом отбор из врезки осуществлялся в течении четырнадцати дней, после чего закачка воды прекратилась и метод обнаружения утечек по анализу профиля давления, входящий в систему обнаружения утечек (СОУ) «LeakSpy», при очередном отборе просигнализировал о наличии утечки. На мониторе инженера в территориальном диспетчерском пункте отразился излом гидравлического уклона, что и можно наблюдать на рис. 3.

В данной конкретной ситуации некорректно была поставлена работа оперативного персонала. Игнорирование сигнала волоконно-оптического метода было решающей ошибкой. Если бы инженеры по СОУ регистрировали данные срабатываний сигнала о вмешательстве в оперативном журнале и передавали информацию о сигнале по сменам, то можно было бы намного быстрее определить, что возмущения происходят на одном и том же километре нефтепродуктопровода, а также почти с одинаковой периодичностью. Сотрудники службы безопасности были бы направлены на линейную часть через 2...3 дня с мо-

мента начала отбора из врезки, а не после отработки, как считалось, более точной системы обнаружения утечек.

Мы видим, что обнаружение утечки СОУ по методу гидравлических уклонов при этом может быть затруднено, так как излом гидроуклона в силу различных манипуляций не наблюдается [7, 9]. В связи с этим одним из важнейших требований к применению систем обнаружения утечек является использование комбинаций из различных методов, которые, по возможности, будут охватывать и анализировать максимально уязвимые области.

Заключение.

В результате моделирования несанкционированной врезки в трубопровод определена пропускная способность шлейфа врезки, выполнен гидравлический расчет двух образовавшихся участков (до точки врезки и после). В ходе расчета построен график, отражающий режим работы магистрального нефтепродуктопровода с врезкой.

Проанализированы особенности обнаружения утечек методом гидравлических уклонов. В результате исследования показана недостаточная эффективность данного метода, так как зачастую злоумышленники при одновременном отборе нефтепродукта из трубопровода ведут закачку воды, следовательно, излом гидроуклона не наблюдается.

В работе отмечено, что интерпретация полученных показателей каждого метода обнаружения остается за диспетчером, поэтому зачастую срабатывает человеческий фактор. В качестве мер по повышению эффективности обнаружения утечек и несанкционированных врезок можно рекомендовать одновременное использование комбинаций из различных методов обнаружения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оценка надежности газоснабжения отдельных потребителей с использованием цифрового моделирования / Г. Н. Мартыненко, Н. А. Петрикеева, С. А. Горских, А. А. Горских // Альтернативная и интеллектуальная энергетика. Материалы II Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2020. – С. 159-160.
2. Глушков, Э. И. Системы обнаружения утечек нефти в трубопроводах – новая продукция ОАО «Нефтеавтоматика» / Э. И. Глушков, Р. В. Аскарлов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2009. – № 4. – С. 18-19.
3. Архипов, Д. Н. Актуальные вопросы обеспечения экономической безопасности топливно-энергетического комплекса России на современном этапе / Д. Н. Архипов, А. А. Ребров, А. С. Ханахмедов. – Москва: Юрист – Правоведъ. – 2016. – № 3(76). – С. 86-92.
4. Шестаков, Р. А. К вопросу о методах обнаружения утечек и несанкционированных врезок на магистральных нефтепроводах / Р. А. Шестаков // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. – Москва, 2015. – № 1. – С. 85-94.
5. Лурье, М. В. Трубопроводный транспорт нефти, нефтепродуктов газа для специалистов / М. В. Лурье. – Москва: ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. – 147 с.
6. Липский, В. К. Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ / сост. В. К. Липский, М. Е. Демидова. – Новополюцк: ПГУ, 2007. – 312 с.
7. Петрикеева, Н. А. Цифровое моделирование и прогнозирование характеристик гидравлической сети / Н. А. Петрикеева, Д. М. Чудинов // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2024. Сборник докладов V Национальной научной конференции. – Москва, 2025. – С. 629-634.

8. **Ермоленко, Д. В.** Развитие гидравлического удара в трубопроводных системах / Д. В. Ермоленко, О. М. Мартыненко, Н. А. Петрикеева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2023. – № 4 (33). – С. 31-35.

9. Reliability assessment of gas supply to individual consumers using digital modeling / G. N. Martynenko, N. A. Petrikeeva, S. A. Gorskikh, A. A. Gorskikh // Materials science and engineering. The II «International Theoretical and Practical Conference on Alternative and Smart Energy». – Voronezh. – 2021. – Pp. 12025.

Поступила в редакцию 14 мая 2025

MODELING THE OPERATION OF A MAIN OIL PRODUCT PIPELINE DURING AN UNAUTHORIZED TAPPING

N. A. Petrikeeva, I. A. Serikova, A. D. Petrikeev

Natalya Aleksandrovna Petrikeeva, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(952)101-72-96; e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru

Irina Alekseevna Serikova, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(951)549-19-57; e-mail: iserikova@cchgeu.ru

Alexander Dmitrievich Petrikeev, student at the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(951)569-56-20; e-mail: petrikeefff@gmail.com

The main danger for the operational transportation of oil and oil products are leaks and unauthorized taps. According to various estimates, the total losses of oil and oil products due to accidents on main oil pipelines and leaks into the environment amount to 1 to 5 million tons annually. The article presents the results of modeling the hydraulic mode of operation of a main pipeline with a leak, which is a prototype of an unauthorized tapping. Here we present the hydraulic characteristics of the linear part without and with the tapping, as well as the total flow-pressure characteristic of the oil pumping station. The article demonstrates that the flow in the linear part after the tapping decreases, while the differential pressures of the stations increase, since the pumps develop a higher pressure at a lower feed. The hydraulic slope of the section decreases, the hydraulic slope line becomes flatter than in the design mode. It is noted that the obtained graphical dependence could be observed in the control room only on the fourteenth day of extraction from the tapping, since water can be pumped into the system during the simultaneous extraction of oil products by intruders.

Keywords: oil products; pipelines; leak; unauthorized extraction; modeling; hydraulic characteristic.

REFERENCES

1. **Martynenko G. N., Petrikeeva N. A., Gorskikh S. A., Gorskikh A. A.** *Assessment of the reliability of gas supply to individual consumers using digital modeling.* Alternative and intelligent energy. Proceedings of the II International scientific and practical conference. Voronezh. 2020. Pp. 159-160. (in Russian)

2. **Glushkov E. I., Askerov R. V.** *Oil leak detection systems in pipelines - new products of Nefteavtomatika OJSC.* Automation, telemechanization and communication in the oil industry. 2009. Vol. 4. Pp. 18-19. (in Russian)

3. **Arkhipov D. N., Rebrov A. A., Khanakhmedov A. S.** *Actual issues of ensuring economic security of the fuel and energy complex of Russia at the present stage.* Moscow, Jurist – Pravoved. 2016. Vol. 3 (76). Pp. 86-92. (in Russian)

4. **Shestakov R. A.** *On the issue of methods for detecting leaks and unauthorized taps on trunk oil pipelines.* Works of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas. Moscow. 2015. Vol.1. Pp. 85-94. (in Russian)
5. **Lurye M. V.** *Pipeline transportation of oil, oil products and gas for non-specialists.* Moscow. CenterLitNefteGaz. 2012. 147 p. (in Russian)
6. **Lipskiy V. K., Demidova M. E.** *Design, construction and operation of gas and oil pipelines and gas and oil storage facilities.* Novopolotsk. PSU. 2007. 312 p. (in Russian)
7. **Petrikeeva N. A., Chudinov D. M.** *Digital modeling and forecasting of hydraulic network characteristics.* Actual problems of the construction industry and education – 2024. Collection of reports of the V National Scientific Conference. Moscow. 2025. Pp. 629-634. (in Russian)
8. **Ermoolenko D. V., Martynenko O. M., Petrikeeva N. A.** *Development of hydraulic shock in pipeline systems.* Urban development. Infrastructure. Communications. 2023. Vol. 4(33). Pp. 31-35. (in Russian)
9. **Martynenko G. N., Petrikeeva N. A., Gorskikh S. A., Gorskikh A. A.** *Reliability assessment of gas supply to individual consumers using digital modeling.* Materials science and engineering. The II «International Theoretical and Practical Conference on Alternative and Smart Energy». Voronezh. 2021. Pp. 12025.

Received 14 May 2025

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Петрикеева, Н. А. Моделирование работы магистрального нефтепродуктопровода при наличии несанкционированной врезки / Н. А. Петрикеева, И. А. Серикова, А. Д. Петрикеев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 2(33). – С. 76-83. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.008.

FOR CITATION:

Petrikeeva N. A., Serikova I. A., Petrikeev A. D. *Modeling the operation of a main oil product pipeline during an unauthorized tapping.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 76-83. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.008. (in Russian)

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ,
РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО**

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

DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.009

УДК 712.00

**ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЬНОЙ СЕТКИ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛАНДШАФТНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Е. В. Золотарева

Золотарева Елена Васильевна, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры проектирования городской среды, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева», Орел, Российская Федерация, тел.: +7(953)811-21-98; e-mail: flower64@mail.ru

В статье анализируются методические подходы, применяемые при проектировании различных ландшафтных объектов. Рассматриваемые методики основываются на определении назначения объекта, выявлении его функциональной направленности и анализе объектов, близких по этим критериям. Рассмотрены аспекты проектирования средовых объектов на основе модульной сетки, предложенной Джоном Бруксом. Применение модульной сетки позволяет разработать несколько вариантов благоустройства территории, значительно отличающихся друг от друга. Ландшафтные проекты, выполненные на основе модульной сетки, представляют собой целостную композиционную структуру, т.к. все элементы пропорциональны какому-либо общему значению и, соответственно, пропорциональны друг другу. Этот метод может применяться на различных по площади объектах, но наиболее удобен при проектировании небольших территорий: скверов, бульваров, дворовых пространств индивидуальных и многоквартирных домов. Приведены примеры проектов, иллюстрирующих возможности вариантного проектирования на основе использования модульной сетки.

Ключевые слова: ландшафтное проектирование; методика проектирования; средовой объект; планировочная структура; модульная сетка; озеленение; благоустройство.

Проектирование любого средового объекта начинается с выбора методики проектирования. На выбор методики влияют различные факторы: назначение объекта, расположение в плане населенного пункта, его площадь, окружение и т.п. Также на выбор методики может оказать влияние предпочтение того или иного стиля ландшафтным архитектором – регулярного или пейзажного.

На основании изучения значительного количества источников можно утверждать, что при большом разнообразии методик проектирования творческий процесс базируется на предпроектных исследованиях и формулировке цели проектирования. На сам процесс проектирования влияет личность дизайнера (архитектора) и его предпочтения в сфере ландшафтной архитектуры. При этом основной целью проектирования является создание уникального и запоминающегося объекта.

В процессе проектирования средового объекта можно выделить следующие этапы:

1. *Анализ.* Это и градостроительный, и ландшафтно-визуальный анализ, а также изучение принципов формирования аналогичных объектов.

2. *Разработка концептуального проекта.* Концепция не является детальным проектом, но представляет общую идею, выраженную в планировке, цветовых сочетаниях и т.д. На стадии разработки концепции проявляется уникальность будущего объекта. При этом

концептуальный проект решает какую-то конкретную проблему, а не просто является красивой картинкой [1]. Представленный концептуальный проект может послужить основой для разработки проектной документации.

3. Так называемое «*нормативное проектирование*», т.е. доработка концептуального проекта для дальнейшей его реализации.

При проектировании ландшафтных объектов применяются различные методики. Метод *аналогии* – основан на поиске аналогов, т.е. подражании природным или рукотворным ландшафтам [2]. Использование метода аналогии – это переосмысление творческого источника, который становится основой концепции проекта [3]. В подобных случаях возникают опасения в том, что объект не будет уникальным, а будет повторять какой-либо из уже существующих объектов.

Эмпатия в проектировании – это отождествление себя с проектируемым объектом [4]. Т.е. дизайнер, в сущности, реализует ассоциации и ощущения, возникающие у него при нахождении на участке.

Метод *функционального проектирования* [5] направлен на создание оптимальных условий для реализации какой-либо функции: спортивной, транзитной, развлекательной и т.п.

Проведя анализ источников, посвященных методикам средового проектирования и опубликованные в разное время, то можем прийти к выводу, что:

а) методики проектирования весьма разнообразны (иногда за счет того, что каждый автор дает методике свое название);

б) все методики тесно связаны между собой. При этом, на стадии разработки концепции проекта следует учитывать его назначение, перечень выполняемых функций, изучить аналоги и использовать наиболее подходящие к рассматриваемому объекту приемы проектирования благоустройства и озеленения.

При проектировании средовых объектов важно создать концепцию формирования разнообразной и комфортной среды, которая в то же время будет соответствовать закону единства, т.е. все элементы объекта будут организованы в целостную композиционную структуру [6]. Поддержанию этого может способствовать применение общих приемов планировки, подбор стилистически схожих малых архитектурных форм и артобъектов, повторяющийся на всех участках проектируемого объекта ассортимент деревьев, кустарников и травянистых растений и так далее.

В качестве объединяющего начала может выступать так называемая «память места» или «дух места» (*Genius loci*), выраженные с помощью подчеркивания исторических ассоциаций, архитектурных и ландшафтных особенностей окружающего объект пространства. Дух места – это те эмоции, которые вызывает данный объект [7]. Например, при проектировании средовых объектов на бывших промышленных территориях сохраняют и включают в проект здания и сооружения, наполняя их новыми функциями (например, ГЭС-2 в Москве).

Иной вариант объединяющего начала при проектировании – построение всех элементов планировки, пропорциональных какому-либо параметру. На этом основано проектирование с использованием модульной сетки. Оно заключается в том, что на весь участок (или его часть) накладывается сетка, размер ячейки которой равен какому-либо параметру архитектурного сооружения или планировочного элемента (например, ширине аллеи). Таким образом, все функциональные зоны и элементы планировки вписываются в ячейки сетки.

Етеревская И. Н. утверждает, что «Система узнаваемых элементов», ... объединение может быть достигнуто модульностью, средствами городского дизайна (единством деталей, стиля, орнаментальных построений)» [8].

Одним из популярных способов создания гармоничной композиции пространства можно считать разработанный Джоном Бруксом метод модульной сетки, при котором

скрытым элементом садового дизайна является размер, уникальный для определённой площадки. Он используется при построении решетки (сетки), накладываемой на проектируемый участок. При этом размер квадратов решётки должен быть пропорционален какому-либо объекту на участке (элементу здания, ширине дороги и т.п.). Таким образом, вписывая в модульную сетку все функциональные зоны и элементы планировки, возможно создать проект, все части которого визуально объединены за счет того, что они пропорциональны одному какому-либо размеру [9, 10].

В настоящее время можно существуют как реальные объекты, так и проектные предложения, в которых применялась модульная сетка в том или ином виде. Например, парк «Краснодар» (парк Галицкого) – хорошо просматривается построение плана по модульной сетке с применением дуг и окружностей разного радиуса. Парк «Сентрал Грин» в Филадельфии представляет собой простые геометрические формы в виде колец и полукругов [6]. Парк в поселке Нижний Тракторный (г. Волгоград) [11]. На рис. 1 явственно просматривается модульная сетка, в которую «вписаны» различные функциональные зоны. Использование диагоналей формирует динамичный образ парка.



Рис. 1. Схема реновации парка на территории поселка Нижний Тракторный, г. Волгоград [11]

Конечно, практически невозможно спроектировать объект, не отступая от модульной сетки. Но ее применение позволяет разработать некоторое количество вариантов планировки с тем, чтобы в последующем можно было выбрать более удачные решения.

Ниже приведены примеры проектов, разработанных с применением модульной сетки магистрантами направления 07.04.01 «Архитектура устойчивой среды обитания». Приведенные примеры демонстрируют, насколько разными могут быть проекты одной и той же территории.

Метод модульной сетки больше подходит для проектирования небольших пространств: скверов, бульваров, дворовых территорий при многоквартирных домах.

Так, при проектировании дворовых территорий в типовой жилой застройке важно внести разнообразие в планировку каждого двора, чтобы жителям было легче ориентироваться в массиве похожих друг на друга зданий. На рис. 2 приведены варианты планировки одного и того же дворового пространства с использованием разных вариантов модульной сетки. Проектирование по прямой модульной сетке (построенной параллельно какой-либо одной из сторон проектируемого участка) позволяет сформировать ощущение стабильности. При применении диагональной модульной сетки (повернутой под углом в 45° относительно прямой) дает более динамичное решение.

Предварительно была разработана схема функционального зонирования, единая для всех вариантов планировки. На территории двора выделены следующие зоны: прогулочная, детского отдыха, спортивная, тихого отдыха. Размещение всех зон выполнено в соответствии с установленными нормативами. На рис. 2,а представлена планировка дворовой

территории по сетке, стороны которой параллельны зданиям, образующим левую и правую стороны треугольника. Соответственно, все контуры дорожек и площадок вписаны в эту сетку. На рис. 2,б сетка «развернута» под углом 45° , т.е. ее сторона параллельна линии зданий внизу схемы, и контуры всех элементов планировки также вписаны в ячейки сетки.

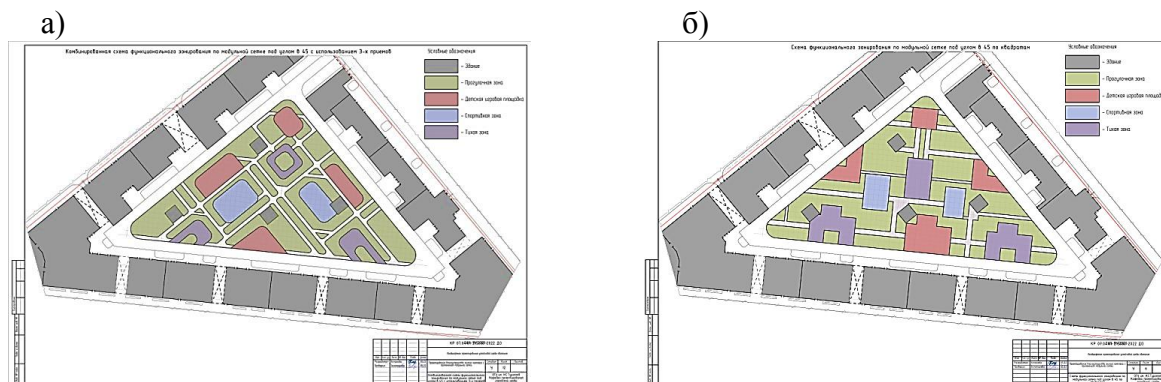


Рис. 2. Планировочная структура территории двора жилого комплекса, г. Орел:

а – выполненная по прямой модульной сетке;

б – выполненная по модульной сетке под углом 45° (магистрант Кочанова С. А., рук. Золотарева Е. В.)

Таким образом, разработано два варианта благоустройства дворового пространства, значительно различающиеся между собой. При разработке обоих вариантов соблюдалась возможность формирования комфортных путей передвижения по всем функциональным зонам для всех проживающих в жилом комплексе.

Еще один проект дворового пространства разработан на основе сетки, расположенной под углом 45° (рис. 3).

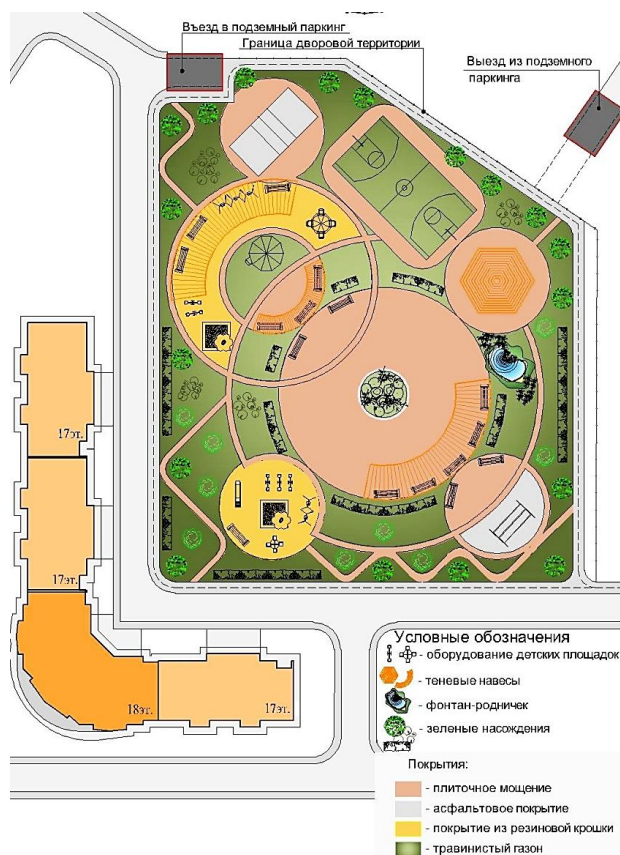


Рис. 3. Эскиз благоустройства дворовой территории в микрорайоне «Стрелец», г. Орел (магистрант Бирюкова В.А., рук. Золотарева Е.В.)

При проектировании была поставлена задача отойти от традиционного прямоугольно-линейного решения и предпринята попытка построить все элементы благоустройства с помощью дуг и окружностей различных радиусов. Такой двор обязательно станет «якорем» в типовой жилой застройке и будет способствовать ориентации жителей в микрорайоне. Несмотря на необычную планировку, на проектируемой территории удалось расположить все необходимые элементы благоустройства.

Метод проектирования по модульной сетке был применен при разработке вариантов благоустройства территории Animal-центра в г. Орле (рис. 4 и 5). На рис. 4 представлены варианты планировочного решения по прямой модульной сетке (рис. 4,а) и по сетке, повернутой под углом 45° (рис. 4,б).



Рис. 4. Планировочная структура Animal-центра (г. Орел), разработанная на основе:

а – прямой модульной сетки; б – модульной сетки, развернутой под углом 45°

(магистрант Кукушкина Н.Н., рук. Золотарева Е.В.)

Предварительно был составлен перечень необходимых функциональных зон и определена их площадь, исходя из проектируемого количества животных, посещающих ветеринарную клинику центра и проживающих в гостинице и приюте Animal-центра. На территории размещены следующие функциональные зоны: зона ожидания для посетителей, зоны выгула (раздельно для гостиницы, изолятора и приюта), зона дрессировки, зоны отдыха (раздельно для посетителей и персонала). Размещение функциональных зон друг относительно друга осуществлялось с учетом требований к функциональному зонированию аналогичных объектов.

На рис. 5 представлены планы благоустройства территории Animal-центра, выполненные на основе схем функционального зонирования. Несмотря на применение одних и тех же элементов композиции зеленых насаждений (рядовая и одиночная посадка деревьев, живые изгороди из кустарников), что обусловлено спецификой объекта, в результате варианты благоустройства значительно отличаются друг от друга.

Применение модульной сетки не всегда целесообразно на всей территории объекта, особенно если это парк, занимающий большую площадь. В этом случае имеет смысл с помощью модульной сетки проектировать отдельные функциональные зоны: парадную (входную), детского отдыха (сформировать эту зону как систему разнообразных площа-

док). Такие зоны, как прогулочная или тихого отдыха, логичнее решить свободно, без учета модульной сетки.

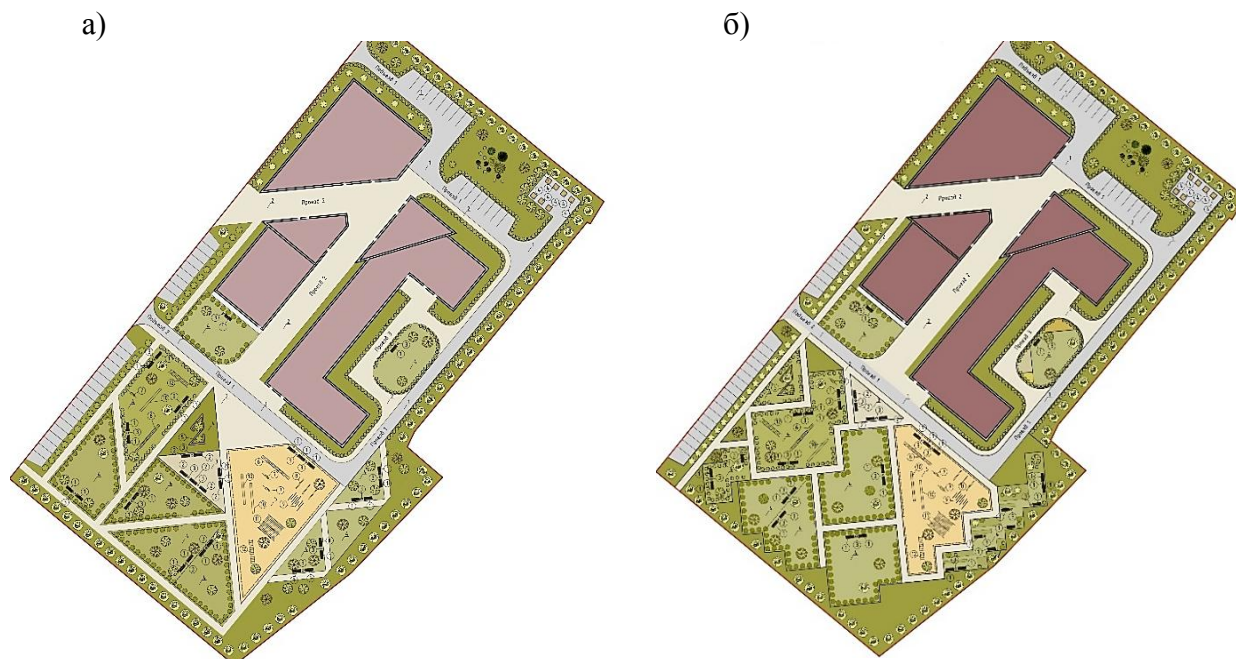


Рис. 5. План благоустройства Animal-центра (г. Орел), разработанный на основе:
а – прямой модульной сетки; б – модульной сетки, развернутой под углом 45°
(магистрант Кукушкина Н.Н., рук. Золотарева Е.В.)

Заключение.

Представленные проекты наглядно демонстрируют возможности разработки разнообразных вариантов планировочной структуры средового объекта. Модульная сетка позволяет «собрать» объект, как своеобразный пазл или мозаику из одинаковых по размеру и форме элементов. Метод проектирования по модульной сетке позволяет сформировать объект как целостную композиционную структуру.

Таким образом, метод проектирования средовых объектов по модульной сетке может применяться как самостоятельный, основной метод, так и в качестве вспомогательного, промежуточного, позволяющего разработать концептуальный проект или несколько вариантов планировочной структуры с последующим формированием итогового архитектурно-планировочного решения средового объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гущин, А. Н.** Концептуальное проектирование в магистратуре / А. Н. Гущин, М. Н. Дивакова // Архитектон: известия вузов. – 2024. – № 2(86). – DOI 10.47055/19904126_2024_2(86)_26.
2. **Садохина, Е. Н.** Методы творчества в ландшафтном дизайне / Е. Н. Садохина // Современные тенденции в ландшафтном дизайне: Сборник научных трудов. Выпуск 2. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2023. – С. 66-77. – DOI 10.22450/9785964205876_66.
3. **Иванова, Н. В.** Архитектурно-ландшафтная организация объектов рекреационной деятельности на территории острова Голодный Волгограда / Н. В. Иванова, О. А. Ганжа // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2023. – № 2(91). – С. 180-191.
4. **Скирута, М. А.** Инженерное творчество в легкой промышленности / М. А. Скирута, О. Ю. Комиссаров. – Москва: Легпромбытиздат, 1990. – 200 с.

5. **Благова, Т. Ю.** Креативные методы дизайна: учебное пособие / Т. Ю. Благова. – Благовещенск : Амурский государственный университет, 2015. – 72 с.
6. **Шутка, А. В.** Градостроительная оптимизация структуры рекреационных территорий на примере сквера на ул. Депутатской г. Воронежа / А. В. Шутка, Е. И. Гурьева // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. – Т. 22. – № 1. – С. 31-43. – DOI 10.31675/1607-1859-2020-22-1-31-43.
7. **Современный дизайн – образование: состояние, проблемы, перспективы и пути разрешения** / Т. А. Чикаева, Е. В. Аверченко, Н. В. Цебрикова [и др.]. – Москва: Учреждение высшего образования «Московский художественно-промышленный институт», 2022. – 351 с.
8. **Етеревская, И. Н.** Региональные принципы проектирования городских общественных пространств / И. Н. Етеревская. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2018. – 124 с.
9. **Брукс, Дж.** Дизайн сада / Дж. Брукс. – Москва: Бертельсманн, 2009. – 384 с.
10. **Кокорина, В. В.** Формирование качественной рекреационной среды многофункциональных длинных комплексов на базе велодром-арены (г. Брянск) / В. В. Кокорина, Е. В. Золотарева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 3 (30). – С. 74-83. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.008.
11. **Самойленко, П. В.** Благоустройство парка в поселке Нижний Тракторный в Тракторозаводском районе Волгограда: из прошлого в будущее / П. В. Самойленко, И. А. Антипова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2022. – № 3(88). – С. 488-498.

Поступила в редакцию 26 апреля 2025

APPLICATION OF MODULAR GRID IN DESIGNING LANDSCAPE FACILITIES

E. V. Zolotareva

Elena Vasilievna Zolotareva, Cand. Sc. (Agric.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Urban Environment Design, Orel state University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia, tel.: +7(953)811-21-98; e-mail: flower64@mail.ru

The article analyzes the methodological approaches used in the design of various landscape facilities. The methods under consideration are based on determining the purpose of an object, identifying its functional orientation and analyzing facilities that are similar in terms of these criteria. I considered the aspects of designing environmental facilities based on the modular grid proposed by John Brooks. The use of a modular grid allows developing several options for landscaping that differ significantly from each other. Landscape projects based on a modular grid represent a holistic compositional structure, since all elements are proportional to some common value and, accordingly, proportional to each other. This method can be used on facilities of various sizes, but is most convenient when designing small areas: squares, boulevards, courtyards of individual and apartment buildings. I give some examples of projects illustrating the possibilities of variant design based on the use of a modular grid.

Keywords: landscape design; design methodology; environmental facility; planning structure; modular grid; landscaping; improvement.

REFERENCES

1. **Gushchin A. N., Divakova M. N.** *Conceptual design in master's program*. Architecton: news of universities. 2024. No. 2(86). DOI 10.47055/19904126_2024_2(86)_26. (in Russian)

2. **Sadokhina E. N.** *Methods of creativity in landscape design*. Modern trends in landscape design: Collection of scientific papers. Issue 2. Blagoveshchensk, Far Eastern State Agrarian University. 2023. Pp. 66-77. DOI 10.22450/9785964205876_66. (in Russian)
3. **Ivanova N. V., Ganzha O. A.** *Architectural and landscape organization of recreational facilities on the territory of Golodny Island in Volgograd*. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2023. No. 2 (91). Pp. 180-191. (in Russian)
4. **Skiruta M. A., Komissarov O. Yu.** *Engineering creativity in light industry*. Moscow, Legprombytizdat. 1990. 200 p. (in Russian)
5. **Blagova T. Yu.** *Creative Design Methods: A Tutorial*. Blagoveshchensk, Amur State University. 2015. 72 p. (in Russian)
6. **Shutka A. V., Guryeva E. I.** *Urban planning optimization of the structure of recreational areas on the example of a park on Deputatskaya Street in Voronezh*. Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2020. Vol. 22. No. 1. Pp. 31-43. DOI 10.31675/1607-1859-2020-22-1-31-43. (in Russian)
7. **Chikaeva T. A., Averchenko E. V., Tsebrikova N. V.** *Modern design education: state, problems, prospects and ways of resolution*. Moscow, Institution of higher education Moscow Institute of Art and Industry. 2022. 351 p. (in Russian)
8. **Etereyskaya I. N.** *Regional principles of designing urban public spaces*. Volgograd, Volgograd State Technical University. 2018. 124 p. (in Russian)
9. **Brooks J.** *Garden design*. Moscow, Bertelsmann. 2009. 384 p. (in Russian)
10. **Kokorina V. V., Zolotareva E. V.** *Formation of a quality recreational environment of multifunctional sports complexes based on the velodrome arena (The city of Bryansk)*. Housing and utilities infrastructure. No. 3(30). Pp. 73-83. DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.008. (in Russian)
11. **Samoylenko P. V., Antipova I. A.** *Improvement of the park in the village of Nizhniy Traktorny in the Traktorozavodsky district of Volgograd: from the past to the future*. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2022. No. 3(88). Pp. 488-498. (in Russian)

Received 26 April 2025

Для цитирования:

Золотарева, Е. В. Применение модульной сетки при проектировании ландшафтных объектов / Е. В. Золотарева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 2(33). – С. 84-91. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.009.

FOR CITATION:

Zolotareva E. V. *Application of modular grid in designing landscape facilities*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 84-91. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.009. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.010

УДК 581.9(470.319)+502.75

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ В ГОРОДСКОМ ОЗЕЛЕНЕНИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ФИТОКОМПОЗИЦИЙ

Е. А. Коренькова, Н. А. Ширяева, Ж. Г. Силаева

Коренькова Екатерина Анатольевна, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры ландшафтной архитектуры, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», Орел, Российская Федерация, тел.: +7(920)824-24-80; e-mail: korkatya@mail.ru

Ширяева Нина Александровна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», Орел, Российская Федерация, тел.: +7(953)617-54-21; e-mail: nina_pril@mail.ru

Силаева Жанна Геннадьевна, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры ландшафтной архитектуры, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», Орел, Российская Федерация, тел.: +7(920)824-24-80; e-mail: zh.silaeva@mail.ru

Затронуты важные вопросы экологии и дизайна городской среды, предложены конкретные решения для улучшения качества жизни горожан посредством грамотного подбора и ухода за многолетними растениями. Подчеркнута важность учета климатических особенностей региона, существующих традиций и сложных экологических условий при выборе видов растений для благоустройства городских территорий. Для природно-климатический условий лесостепной зоны РФ проведен подбор многолетних цветочных растений, устойчивых в городской среде по критериям малого ухода, теневыносливости, засухоустойчивости и нетребовательности к плодородию почвы. Выбор многолетних растений для озеленения городов основывается на нескольких ключевых критериях, среди которых особое внимание уделяется представителям местной флоры, крупным размерам растений и их долговечности в плане сохранения декоративных качеств. Разработаны дизайн-проекты, предусматривающие создание модульных цветников круглой, треугольной, квадратной форм в виде миксбордеров из крупномерных цветочных растений, которые легко вписываются в любую конфигурацию имеющегося цветника и komponуются ритмическим повторением модулей, либо их сочетанием.

Ключевые слова: ландшафтная архитектура; городское озеленение; цветочные культуры; городская среда; экологичность; экономичность; устойчивость.

Современные тенденции в области городского озеленения направлены на повышение устойчивости растительных сообществ, снижение финансовых расходов и уменьшение трудовых затрат. Эти изменения обусловлены необходимостью адаптации к меняющимся климатическим условиям, урбанизации и повышению требований к качеству жизни в городе. [1]. Кроме того, процессы урбанизации ведут к значительным изменениям режима инсоляции, ветрового и влажностного режимов городских территорий, что дополнительно ограничивает ассортимент культур, пригодных для использования в городских условиях.

В России, несмотря на постепенное развитие новых методов озеленения, процесс внедрения инновационных приемов пока идет медленно. Причинами является недостаточная осведомленность специалистов, отсутствие опыта работы с новыми технологиями и нехватка финансирования.

Однако интерес к таким методам постепенно возрастает, особенно в крупных городах, таких как Москва и Санкт-Петербург. В российских городах многолетники широко используют в благоустройстве магистралей, дворов и бульваров. Наиболее распространён-

ные виды включают древесные породы – сирень, розы, клёны и яблони. Однако потенциал применения значительно шире, и многие новые виды и сорта именно травянистых растений становятся доступными благодаря современным биотехнологиям.

Многолетние растения играют важную роль в современном городском озеленении, обеспечивая разнообразие и устойчивость зелёных насаждений. Их достоинства и недостатки зависят от конкретных условий эксплуатации и целей озеленения.

Достоинства многолетников

Динамичность: Изменение внешнего вида в течение вегетационного сезона создаёт живописные картины, обогащающие городской ландшафт. Этот эффект особенно ценится в зонах интенсивного перемещения людей, таких как проезжие части, жилые кварталы и общественные территории.

Биоразнообразие: Многообразие форм, размеров и цветов обеспечивает богатство природных композиций, делая пространство привлекательным и интересным.

Экономия ресурсов: Поскольку многолетники растут годами, они позволяют сократить расходы на посадку и обслуживание по сравнению с однолетниками.

Экологическая устойчивость: Устойчивость к неблагоприятным условиям делает их идеальными кандидатами для обустройства зон отдыха и прогулочных маршрутов.

Недостатки многолетников

Подготовительный этап: Проектирование цветников и подбор ассортимента требует значительных временных и интеллектуальных вложений. Необходимо учитывать особенности роста отдельных растений и их взаимодействие друг с другом.

Необходимость регулярного ухода: Даже самые стойкие многолетники требуют периодического внесения удобрений, удаления сорняков и обработки против вредителей.

Отсутствие быстрого эффекта: Создать полноценную композицию невозможно мгновенно, потребуется время для формирования устойчивой структуры.

В России с её уникальными климатическими условиями, имеющимися традициями в озеленении городов и сложными экологическими условиями, проблема использования многолетних растений в городских условиях требует тщательного изучения и разработки рекомендаций. В связи с этим актуальным является анализ ассортимента многолетних цветочных растений и разработка проектных рекомендаций для устойчивых городских фитокомпозиций.

Целью исследований является изучение перспективного ассортимента многолетних цветочных растений для природно-климатический условий лесостепной зоны России на примере г. Орла и разработка дизайн-проектов устойчивых городских фитокомпозиций.

Для озеленения в лесостепной зоне и городах подобраны неприхотливые многолетники, не требующие частого полива, подкормки и хорошо растущие в тени. Особое внимание уделено местным видам, которые отличаются крупным размером и долго сохраняют привлекательный внешний вид, что позволяет создавать устойчивые и красивые композиции с минимальными усилиями. [8]. Дизайн-проекты разработаны в виде миксбордеров, в которых растения рекомендовано высаживать не по 1...2 экземпляра, а группами, «заливками», по 20 и более штук, создавая одноколлерные поверхности, воспринимаемые не только на уровне глаз человека, но и из окон близ расположенных зданий. Таким образом, предложенный подход к выбору многолетних растений позволяет оптимально сочетать красоту, функциональность и долговечность в условиях современного городского ландшафта.

Цветники на ландшафтных объектах системы озеленения г. Орла типичны как в большинстве городов России и представлены участками правильных или неправильных геометрических форм из однолетних цветочных культур в регулярном стиле – клумбы, бордюры, рабатки. Это определило использование модульного проектного решения при создании цветочных композиций, которое делает возможной реализацию проектов практически в любых пространственных условиях городской застройки [9, 10].

Разработанными дизайн – проектами предусматривается создание модульных цветников круглой, треугольной, квадратной форм в виде миксбордеров из крупномерных цветочных растений, которые легко вписываются в любую конфигурацию имеющегося цветника и komponуются ритмическим повторением модулей, либо их сочетанием. В качестве декоративного компонента в цветник могут быть введены инертные материалы, а также каменистые участки или разделение декоративной плиткой.

Основным принципом при разработке малоуходных цветников было сокращение работ по уходу за растениями до минимального уровня с посадкой одновидовых растений большими массивами (иногда с отдельными акцентными вкраплениями других видов). Данный принцип особенно актуален для условий города, так как определяет повышение экономичности ландшафтного проекта за счет снижения затрат на производство работ по уходу за насаждениями. Для создания малоуходных композиций в климатических условиях города Орла нами рекомендуются: аквилегия обыкновенная *Aquilegia vulgaris* L., астра Фрикарта «Wonder of Stata» *Aster frikartii*, болтония астровидная *Boltonia asteroides*, василек крупноголовый *Centaurea macrocephala* Muss.Puschk. ex Willd., гелиопсис подсолнечниковый *Heliopsis helianthoides*, гелениум гибридный *Helenium hybridum*, лилейник гибридный *Heimerocallis-hybridum*, нивяник великолепный *Leucanthemum-Superbum-Gruppe*, очиток телефиум «Matrona» *Sedum telephium*, рудбекия лучистая «Goldsturm» *Rudbeckia fulgida*, просо прутьевидное «Rehbraun» *Panicum virgatum*, чистец шерстистый *Stachys byzantine*.

При формировании растительных композиций особое внимание уделяется внешнему виду каждого растения в отдельности, в частности, его форме и способности сохранять привлекательный вид на протяжении длительного времени. Именно поэтому для определенных видов растений предпочтительнее использовать их сортовые разновидности.

Разработанный дизайн-проект малоуходной фитокомпозиции построен с учетом сохранения длительной декоративности и динамики высоты растений (рис. 1, табл. 1).

В городской среде среди плотной застройки с преобладанием многоэтажных зданий большая часть поверхностей находится в условиях частичного или полного затенения. Проведенный подбор тенелюбивых многолетников позволяет создать устойчивые цветочные композиции для ограниченных условий роста по освещению. Это вербейник ландышевый *Lysimachia clethroides*, волжанка двудомная *Aruncus dioicus*, герань красно-бурая *Geranium phaeum*, наперстянка пурпурная *Digitalis purpurea*, колокольчик молочноцветковый *Campanula lactiflora*, аконит клобучковый *Aconitum napellus*, астильба гибридная *Astilbe-Hybridum*, астранция крупная *Astrantia major*.

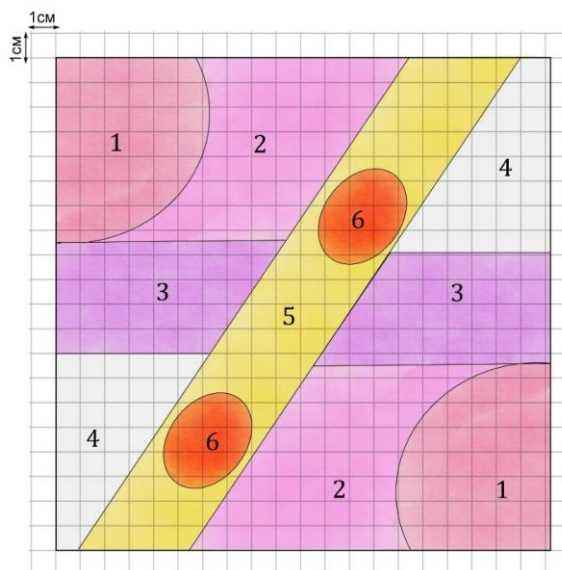


Рис. 1. Посадочный чертеж композиции малого ухода

Таблица 1

Посадочная ведомость растений малого ухода

Позиция на рис.1	Наименование	Площадь под занимаемой культурой, м ²	Схема посадки, шт./м ²	Количество растений, контейнер/шт
1	Очиток телефеиум «Matrona»	3,04	25×25	48
2	Аквилегия обыкновенная «Nora Barlow»	3,84	35×35	46
3	Астра фрикарти «Wonder of Stata»	2,88	40×40	12
4	Нивяник великолепный	2,24	30×30	20
5	Гелиопсис подсолнечниковый	2,68	45×45	11
6	Гелениум гибридный	0,68	40×40	2

Дизайн-проектом цветника для тенистых условий роста кроме динамики высоты растений предусмотрено гармоничное многотонное цветовое решение в сочетании с нейтральным цветом (рис. 2, табл. 2).

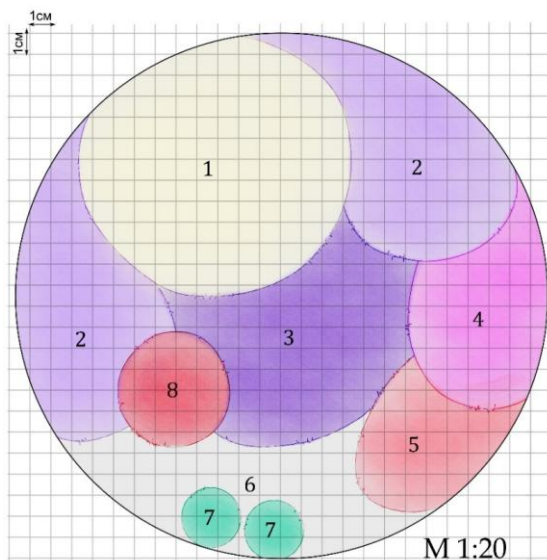


Рис. 2. Посадочный чертеж тенистого цветника

Таблица 2

Посадочная ведомость тенистого цветника

Позиция на рис.2	Наименование	Площадь под занимаемой культурой, м ²	Схема посадки, шт./м ²	Количество растений, контейнер/шт.
1	Волжанка двудомная	4,12	70×70	6
2	Колокольчик молочноцветковый «Loddon Anna»	4,36	50×50	17
3	Аконит клобучковый	2,52	30×30	23
4	Наперстянка пурпурная	1,72	35×35	15
5	Астранция крупная	1,24	40×40	5
6	Вербейник ландышевый	1,88	30×30	16
7	Хоста гибридная «Adiqua Drinkin Gourd»	0,4	40×40	2
8	Астильба гибридная «Fanal»	0,8	50×50	3

Засухоустойчивые и нетребовательные к почве растения, приспособившиеся к бедным урбаноземам и недостатку влаги, представляют особую актуальность для городского озеленения. Они не требуют регулярного полива, отлично приживаются. Среди видов растений такой группы можно рекомендовать множество ярких и эффектных декоративных цветов, способных радовать пышным неповторимым цветением в течение всего сезона: эремурус, гибриды Руйтера *Eremurus-Ruiter-Hybriden*, перовския абротановидная *Perovskia abrotanoides*, коровяк густоцветковый «Cotsworld Queen» *Verbascum densiflorum*, вербейник точечный *Lysimachia punctata*, короставник македонский *Knautia macedonica*, колокольчик дернистый *Campanula cespitosa*, очиток телефиум «Herbstfreude» *Sedum telephium*, кентрантус красный *Centranthus ruber*, ирис бородатый, гибридный *Iris barbata hybriden*, золотарник гибридный *Solidago hybrida*, тимьян ползучий *Thymus serpyllum*.

Дизайн-проект цветника из засухоустойчивых и нетребовательных растений также разработан в виде миксбордера (рис. 3, табл. 3).

Таблица 3

Посадочная ведомость засухоустойчивых растений

Позиция на рис.3	Наименование	Площадь под занимаемой культурой, м ²	Схема посадки, шт./м ²	Количество растений, контейнер/шт.
1	Очиток телефиум «Herbstfreude»	1,12	25×25	18
2	Коровяк густоцветковый «Cotsworld Queen»	1,48	40×40	6
3	Ирис германский «Buttered Popcorn»	0,92	40×40	4
4	Короставник македонский	1,24	30×30	11
5	Перовския абротановидная	1,8	60×60	5
6	Эремурус, гибриды Руйтера	2,96	40×40	12

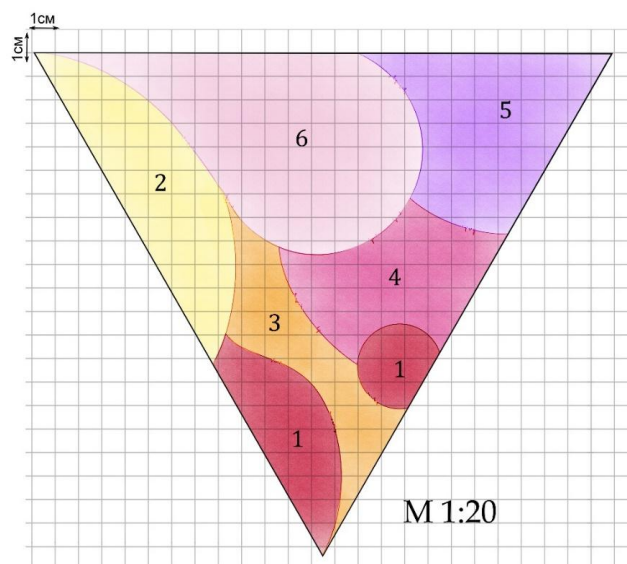


Рис. 3. Посадочный чертеж композиции из засухоустойчивых и нетребовательных к почве растений

Необходимо отметить возможность дальнейшего расширения перечня растений, перспективных для формирования устойчивых композиций в условиях урбанизированной среды, а также их классификации по различным критериям. При этом особое значение приобретает изучение и внедрение эндемичных видов, что позволит оптимизировать использование декоративных посадок в наиболее неблагоприятных условиях.

Заключение.

Проведен подбор ассортимента многолетних цветочных растений, пригодных к произрастанию в природно-климатических условиях лесостепной зоны России с учетом следующих параметров: адаптированность к городской среде, декоративность, колористика, высота растений, габитус (форма куста), сроки цветения.

Разработанный ассортимент многолетних растений, предназначенный для городского цветочного оформления, предоставляет возможность в полной мере реализовать эстетические качества цветочных культур, оптимизировать затраты на озеленение, повысить экологическую устойчивость городской экосистемы и способствовать улучшению психоэмоционального состояния населения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Моргунова, Е. Г.** Опыт использования многолетних травянистых растений в городской среде / Е. Г. Моргунова, М. А. Быкова // Роль ландшафтной архитектуры в экологии современного города: сб. материалов молодёжного форума. – Орел, Издательство Орел ГАУ, 2017. – С. 80-84
2. **Забелина, Е. В.** Анализ перспектив Ландшафтная архитектура. АРТ-ландшафты в современной ландшафтной архитектуре / Е. В. Забелина. – СПб: Лань, 2021. – 115 с.
3. **Койсман, Т.** Цветники. Дизайн. Проектирование / Т. Койсман. – Москва: Эксмо, 2012. – 528 с.
4. **Краснощекова, М. Н.** Используемые и перспективные растения для цветников в озеленении города Майкопа / М. Н. Краснощекова // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2017. – № 47. – С. 186-189.
5. **Макознак, Н. А.** Особенности колористического решения цветников природно-ландшафтного типа / Н. А. Макознак // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2019. – № 55. – С.137-140.
6. **Пирко, И. Ф.** Основные принципы и алгоритм моделирования многокомпонентных цветников из многолетников / И. Ф. Пирко // Промышленная ботаника. – 2013. – Т. 13. – С. 259-269.
7. **Сидоренко, М. В.** Проблематика современных подходов к созданию пейзажных цветочных садов в современной городской среде на примере г. Минска / М. В. Сидоренко // Труды БГТУ. – 2016. – № 1. – С. 211-215.
8. **Ширяева, Н. А.** Современные приемы цветочного оформления городов / Н. А. Ширяева // Роль ландшафтной архитектуры в экологии современного города: сб. материалов молодёжного форума. – Орел, Издательство Орел ГАУ, 2017. – С. 38-40.
9. **Волкова, Т. Ю.** Теоретические основы создания цветников из аборигенных растений / Т. Ю. Волкова, А. И. Довганюк, Д. В. Калашников // Вестник ландшафтной архитектуры. – 2015. – № 5. – С. 28-32.
10. **Наумкин, В. П.** Медоносы в цветочном оформлении городских территорий / В. П. Наумкин, Н. А. Ширяева // Пчеловодство. – №2. – 2020 –С. 24-27

Поступила в редакцию 27 апреля 2025

**ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF USING PERENNIAL
HERBACEOUS PLANTS IN URBAN LANDSCAPING TO CREATE
SUSTAINABLE FLORAL COMPOSITIONS**

E. A. Korenkova, N. A. Shiryaeva, Zh. G. Silaeva

Nina Alexandrovna Shiryaeva, Cand. Sc. (Agricuilt.), Associate Professor of the Department of landscape architec-

ture, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, Russia, tel.: +7(953)617-54-21; e-mail: ni-na_pril@mail.ru

Ekaterina Anatolyevna Korenkova, Cand. Sc. (Agricult.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of landscape architecture, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, Russia, tel.: +7(920)824-24-80; e-mail: korkatya@mail.ru

Zhanna Gennadiyevna Silaeva, Cand. Sc. (Biology), Associate Professor, Associate Professor at the Department of landscape architecture, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, Russia, tel.: +7(920)824-24-80; e-mail: zh.silaeva@mail.ru

In the article we consider several relevant issues of ecology and design of the urban environment, and propose specific solutions to improve the quality of life of city residents through the careful selection and caring for perennial plants. We emphasize the importance of taking into account the climatic features of the region, existing traditions and difficult environmental conditions when choosing plant species for the improvement of urban zones. For the natural and climatic conditions of the forest-steppe zone of the Russian Federation, we selected perennial flower plants that are resistant to the urban environment according to the criteria of low maintenance, shade tolerance, drought resistance and undemanding to soil fertility. The choice of perennial plants for urban landscaping is based on several key criteria, among which special attention is paid to representatives of the local flora, large plant sizes and their durability in terms of preserving decorative qualities. We developed design projects that provide for the creation of modular flower beds of round, triangular, square shapes in the form of mixborders from large-sized flower plants that easily fit into any configuration of an existing flower bed and are composed of a rhythmic repetition of modules, or their combination.

Keywords: landscape architecture; urban landscaping; flower crops; urban environment, environmental friendliness; economy; sustainability.

REFERENCES

1. **Morgunova E. G., Bykova M. A.** *The experience of using perennial herbaceous plants in an urban environment.* The role of landscape architecture in the ecology of a modern city: collection of materials of the youth forum. Orel, Orel Publishing House of the State Agrarian University. 2017. Pp. 80-84 (In Russian)
2. **Zabelina E. V.** *Perspective analysis of landscape architecture.* ART landscapes in modern landscape architecture. St. Petersburg, Lan. 2021. 115 p. (In Russian)
3. **Koisman T.** *Flower beds. Design. Landscaping.* Moscow, Eksmo. 2012. 528 p. (In Russian)
4. **Krasnoshchekova M. N.** *Used and promising plants for flower beds in landscaping of the city of Maikop.* Relevant problems of the forest complex. 2017. No. 47. Pp. 186-189. (In Russian)
5. **Makoznak N. A.** *Features of the coloristic solution of flower beds of the natural landscape type.* Relevant problems of the forest complex. 2019. No. 55. Pp.137-140. (In Russian)
6. **Pirko I. F.** *Basic principles and algorithm for modeling multicomponent flower beds from perennials.* Industrial botany. 2013. Vol. 13. Pp. 259-269. (In Russian)
7. **Sidorenko M. V.** *Problematics of modern approaches to creating landscape flower gardens in a modern urban environment using the example of Minsk.* Proceedings of BSTU. 2016. No. 1. Pp. 211-215. (In Russian)
8. **Shiryaeva N. A.** *Modern methods of floral design of cities.* The role of landscape architecture in the ecology of a modern city: collection of materials of the youth forum. Orel, Publishing House of Orel State Agrarian University. 2017. Pp. 38-40. (In Russian)
9. **Volkova T. Y., Dovganyuk T. Y., Kalashnikov D. V.** *Theoretical foundations of creating flower beds from native plants.* Bulletin of Landscape Architecture. 2015. No. 5. Pp. 28-32. (In Russian)

10. **Naumkin V. P., Shiryayeva N. A.** *Honey plants in the floral design of urban areas.* Beekeeping. No. 2. 2020. Pp. 24-27(In Russian)

Received 27 April 2025

Для цитирования:

Коренькова, Е. А. Анализ эффективности использования многолетних травянистых растений в городском озеленении для создания устойчивых фитокомпозиций / Е. А. Коренькова, Н. А. Ширяева, Ж. Г. Силаева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 2(33). – С. 92-99. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.010.

FOR CITATION:

Korenkova E. A., Shiryayeva N. A., Silaeva Zh. G. *Analysis of the efficiency of using perennial herbaceous plants in urban landscaping to create sustainable floral compositions.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 92-99. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.010. (in Russian)

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

DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.011

УДК 504.054:621.331

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА ПРОТЯЖЕНИИ ВСЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Е. А. Логунова, Д. В. Каргашилов, Н. С. Жидких

Логунова Екатерина Алексеевна, студент кафедры техносферной и пожарной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(980)346-77-76; e-mail: elogunova@cchgeu.ru

Каргашилов Дмитрий Валентинович, канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(910)349-70-39; e-mail: kargashil@mail.ru

Жидких Никита Сергеевич, аспирант кафедры строительной техники и инженерной механики им. профессора Н. А. Ульянова, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(960)113-96-96; e-mail: nzh22@vrtx-lab.ru

Представлен обзор и количественная оценка актуальных экологических вызовов, сопряженных с переходом к электрическому автомобильному транспорту. Анализируется весь период существования электромобилей, включая вопросы пожарной безопасности и последствий возгорания для окружающей среды; проведены вычисления влияния пожара электромобиля на экологическую обстановку. Приведены результаты расчета количества выделяющихся вредных веществ при горении аккумулятора. Исследуются экологические аспекты на всех этапах жизненного цикла электромобилей.

Ключевые слова: экологическая безопасность, электромобиль, электрификация, пожарная безопасность.

В настоящее время наблюдается динамичное расширение электрификации в автомобильной индустрии. Это обусловлено растущим признанием электромобилей, как ключевого инструмента в сокращении выбросов парниковых газов, что активно поддерживается экологическими организациями в контексте борьбы с климатическими изменениями.

Однако, экологическая выгода от использования электромобилей не является однозначной и зависит от множества факторов, которые необходимо учитывать на протяжении всего жизненного цикла – от добычи сырья до производства, эксплуатации и утилизации. Одним из существенных рисков, связанных с электромобилями, является их повышенная пожароопасность, обусловленная использованием литий-ионных аккумуляторов, поведение которых при возгорании отличается от традиционных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания [1].

Данное исследование посвящено анализу рисков возникновения пожаров при эксплуатации электромобилей, экологическим последствиям, возникающим в результате таких инцидентов, а также современным технологиям, направленным на снижение этих рисков. Рассматриваются такие вопросы, как состав электролита в аккумуляторах и его влияние на распространение огня, а также специфические методы обнаружения и тушения пожаров, разработанные для электромобилей. Особое внимание уделяется разработке и внедрению эффективных систем безопасности для электромобилей, с целью снижения вероятности возгораний и минимизации экологического ущерба в случае их возникновения.

Полный жизненный цикл электромобиля состоит из нескольких ключевых фаз:

Добыча ресурсов: данный этап охватывает добычу таких металлов, как литий, ко-

балът и никель, играющих решающую роль в функционировании аккумуляторных батарей. Например, литий используется в катодах литий-ионных аккумуляторов, обеспечивая высокую плотность энергии.

Производственный процесс: создание компонентов электромобилей – это энергозатратная процедура, требующая значительного объема электроэнергии, которая часто генерируется из невозобновляемых источников, таких как уголь. Процесс включает в себя изготовление аккумуляторных ячеек, электрических двигателей и электронных контроллеров.

Эксплуатация: объем выбросов в процессе эксплуатации электромобиля тесно связан с источником электроэнергии, используемой для зарядки батареи. Использование «зеленой» энергии, полученной из возобновляемых источников, таких как солнечные и ветряные электростанции, приводит к уменьшению выбросов, в то время как электроэнергия, произведенная угольными или газовыми электростанциями, способствует увеличению углеродного следа.

Завершение эксплуатации и переработка: главный акцент делается на утилизации аккумуляторных батарей и переработке комплектующих. Отсутствие эффективных методов переработки может привести к попаданию токсичных веществ в окружающую среду, в то время как повторное использование таких ценных ресурсов, как литий и кобальт, может значительно уменьшить негативное воздействие на экологию. На рис. 1 представлен полный жизненный цикл электромобилей.



Рис. 1. Полный жизненный цикл электромобилей

В силу своей небольшой массы и длительного срока службы, литий-ионные аккумуляторы нашли широкое применение в электрических транспортных средствах. Тем не менее, существует угроза возникновения теплового разгона в данных батареях – неконтролируемой цепной реакции внутри аккумуляторного элемента, вызывающей резкое увеличение температуры, что может спровоцировать серьезные возгорания или взрывы [2]. Тушение подобных пожаров представляет собой более сложную задачу, чем борьба с обыч-

ными автомобильными пожарами, вследствие вероятности повторного воспламенения и продолжительного горения, способного длиться на протяжении нескольких часов или даже суток [3].

Физические повреждения, к примеру, в результате дорожно-транспортного инцидента, или чрезмерно продолжительный процесс зарядки также являются значимыми факторами, способствующими выходу аккумуляторных батарей из строя. Вероятность возгорания дополнительно возрастает из-за применения в этих аккумуляторах легковоспламеняющихся электролитов, которые в процессе горения выделяют ядовитые газы, в том числе фтористый водород.

Взрывоопасные газы, способные к возгоранию даже от незначительных источников, таких как статическое электричество или трение, представляют опасность лишь в определенном диапазоне концентраций. Особую воспламеняемость демонстрирует газообразный молекулярный водород. Его способность к самовозгоранию проявляется при концентрациях в пределах от 4 % до 77 %.

Воздействие пожаров электромобилей на экологию имеет как позитивные, так и негативные аспекты. Важно отметить, что в процессе горения выделяются токсичные вещества, которые негативно влияют на атмосферу, землю и водные объекты. В частности, при возгорании литий-ионных батарей происходит выброс опасных газообразных соединений, таких как углекислый газ, метан, а иногда и отравляющие фторированные вещества. Эти выбросы способствуют ухудшению качества атмосферного воздуха и могут нанести ущерб природе [4].

Главная проблема при тушении пожара, вызванного аккумуляторной батареей, связана с большим количеством воды, требующимся для подавления огня, и выделением опасных веществ, включая фтористый водород, соединения углерода, алюминий, литий, медь и кобальт. После тушения необходимо изолировать аккумулятор на период от 24 до 48 часов, полностью погрузив его в воду для поддержания низкой температуры и постоянного мониторинга. Новая проблема возникает с утилизацией воды, которая загрязняется токсичными веществами в процессе охлаждения. Для результативного тушения и охлаждения аккумуляторной батареи электрокара Tesla, поврежденного в ДТП, может потребоваться до 11 тонн воды, а также перемещение батареи в специализированный контейнер для предотвращения повторного возгорания [5, 6].

Утилизация остатков аккумуляторных батарей после пожара представляет собой непростую экологическую задачу. Поврежденные батареи и сгоревшие компоненты электромобилей должны рассматриваться как опасные отходы, поскольку их неправильная утилизация может привести к загрязнению почвы и грунтовых вод. Необходимо разрабатывать и внедрять эффективные способы переработки таких отходов, чтобы свести к минимуму негативное воздействие на окружающую среду.

Оценка выбросов, их масштаба и потенциального влияния при пожарах электромобилей требует проведения анализа. Рассмотрим основные выбросы:

Диоксид углерода (CO_2), количество выбросов определяется по формуле:

$$\text{CO}_2 \text{ выбр.} = m_{\text{акк.}} \cdot f_{\text{сгор.}} \cdot C_{\text{CO}_2}, \quad (1)$$

где $m_{\text{акк.}}$ – масса литий-ионного аккумулятора (например, 500 кг для стандартного электромобиля); $f_{\text{сгор.}}$ – доля сгорания (составляет около 0,6...0,8, поскольку не все материалы сгорают полностью); C_{CO_2} – коэффициент выбросов на кг сгоревшего материала (зависит от химического состава аккумулятора).

Фтористый водород (Hydrogen Fluoride – HF) – литий-ионные аккумуляторы зачастую содержат фтористые соединения, выделяющие фтороводород при горении:

$$\text{HF выбр.} = m_{\text{акк.}} \cdot f_{\text{сгор.}} \cdot F_{\text{HF}}, \quad (2)$$

где F_{HF} – коэффициент выбросов фтористого водорода (зависит от химического состава аккумулятора).

Взвешенные частицы (Particulate Matter – PM):

$$PM \text{ выбр.} = m_{\text{акк.}} \cdot F_{PM}, \quad (3)$$

где F_{PM} – коэффициент выбросов взвешенных частиц (кг/кг).

При расчете конкретного случая возгорания важно учитывать тип и объем горючих материалов. Например:

Катоды: они содержат кобальт, никель или марганец, выделяя оксиды металлов или соли.

Электролитические растворители: выделяют органические соединения (СО, метан).

Проведем расчет потенциальных выбросов для следующих исходных данных:

✓ масса батареи: $m_{\text{battery}} = 400$ кг;

✓ коэффициент выбросов CO_2 : $C_{\text{CO}_2} = 3$ кг CO_2 /кг сгораемого вещества;

✓ доля сгорания: $f_{\text{сгорания}} = 0,7$

Количество выбросов CO_2 по формуле (1) составит:

$$\text{CO}_2 \text{ выбр.} = 400 \cdot 0,7 \cdot 3 = 840 \text{ кг}.$$

Выброс фтористого водорода (HF) по формуле (2) составит:

$$\text{HF выбр.} = 400 \cdot 0,3 \cdot 0,02 = 2,4 \text{ кг}.$$

Выброс взвешенных частиц (PM) по формуле (3) составит:

$$\text{PM выбр.} = 400 \cdot 0,01 = 4 \text{ кг}.$$

Значения коэффициентов выбросов фтористого водорода ($F_{\text{HF}} = 0,02$) и взвешенных частиц ($F_{\text{PM}} = 0,01$) приняты в рамках оценки структуры литий-ионных аккумуляторных батарей и веществ, образующихся при их горении. Величина доли сгорания $f_{\text{сгорания}} = 0,3$ отражает частичный характер локального возгорания.

Анализируя возможное воздействие на окружающую среду, а также здоровье, важно понимать, что оно зависит от нескольких факторов.

Токсичность: для HF и твердых частиц (PM):

$$\text{HF конц.} = \frac{\text{HF выбр.}}{V_{\text{возг.}}} \quad (4)$$

Сравнивается с нормативными пределами (например, допустимый уровень HF 2 ppm).

Рассеивание: использование моделей гауссовых шлейфов для прогнозирования пространственного распределения выбросов.

Экотоксичность: оценка потенциальных эффектов применения средств пожаротушения.

Первые экологические проблемы, связанные с производством аккумуляторных батарей, возникают на этапе добычи необходимых для их создания металлов, включая литий, кобальт и никель. В частности, добыча кобальта часто ведется методами, оказывающими разрушительное воздействие на окружающую среду [7].

Сами процессы добычи характеризуются высоким энергопотреблением, значительной деградацией земель и загрязнением водоемов токсичными веществами, что представляет серьезную угрозу для экологического равновесия. Около 60% мирового производства кобальта сосредоточено в Демократической Республике Конго, где его добыча приводит к масштабной вырубке лесов, усилению эрозии почв и загрязнению водных источников. Например, добыча кобальта в провинции Катанга влечет за собой перемещение больших объемов грунта, что способствует распространению пыли и загрязнению воздуха [8]. Кроме того, использование устаревшего оборудования и технологий увеличивает риск аварий и утечек вредных веществ, что негативно сказывается на здоровье местного населения и состоянии экосистем.

Создание электромобилей, особенно их аккумуляторных батарей, влечет за собой значительный объем выбросов парниковых газов. По сравнению с традиционными автомобилями, выпуск электрокаров в атмосферу может быть более существенным на этапе производства, что главным образом обусловлено энергозатратным процессом изготовления аккумуляторов. Это особенно заметно, когда электроэнергия, необходимая для произ-

водства, генерируется за счет сжигания ископаемого топлива. Например, при производстве электромобиля среднего класса образуется примерно 10...15 тонн углекислого газа (CO_2), причем от 40 % до 50 % этого объема приходится именно на аккумулятор. Производство батарей для электромобилей может составлять до 40 % от общего объема выбросов CO_2 на этапе создания автомобиля.

В процессе эксплуатации электромобили почти не производят выбросов из выхлопной трубы, что резко контрастирует со значительными выбросами автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Однако экологический след электромобилей на этапе использования напрямую зависит от источников электроэнергии, используемых для зарядки. В странах, где уголь и природный газ играют ведущую роль в энергетическом балансе, экологические преимущества электромобилей снижаются [9]. И наоборот, в странах с более экологически чистыми энергосистемами, использующих энергию ветра, солнца или воды, электромобили обеспечивают более заметное снижение выбросов. Исследование Международного энергетического агентства (МЭА) показало, что электромобиль, заряжаемый от электросети, работающей на угле, выделяет около 180 гр. CO_2 на километр пробега, в то время как электромобиль, использующий возобновляемые источники энергии, выделяет около 70 гр. CO_2 на километр. Основные экологические риски, ассоциируемые с электромобилями на протяжении их жизненного цикла, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Факторы, определяющие влияние электротранспорта на экологию
на разных этапах жизненного цикла электромобиля

Стадия жизненного цикла	Воздействие на окружающую среду	Комментарий
Добыча сырья	Высокий спрос на важнейшие полезные ископаемые (например, литий, кобальт, никель)	Производство электромобилей требует примерно на 50% больше энергии, чем при традиционном производстве транспортных средств, из-за добычи и переработки сырья.
Производство аккумуляторов	Энергоемкие процессы и значительные выбросы на заводах	Производство аккумуляторов может привести к выбросам 61...106 кг CO_2 в эквиваленте на кВтч емкости аккумулятора.
Производство транспортных средств	Выбросы CO_2 и потребление ресурсов при сборке	Производство электромобилей приводит к увеличению выбросов примерно на 15 % по сравнению с автомобилями с двигателями внутреннего сгорания (ICEVS) из-за производства аккумуляторов.
Фаза использования	Снижение выбросов во время эксплуатации автомобиля, но зависит от электросети	Электромобили производят нулевые прямые выбросы, но косвенные выбросы варьируются в зависимости от схемы электроснабжения и варьируются от 50г CO_2 /км (возобновляемые источники энергии) до 150 г CO_2 /км (ископаемое топливо).
Зарядка аккумулятора	Зависит от источника энергии (возобновляемый или ископаемый)	Электромобили, работающие на угле, могут привести к выбросам до 258г CO_2 /км, в то время как использование возобновляемых источников энергии может снизить выбросы практически до нуля.
Истечение срока службы (вторичная переработка/утилизация)	Переработка и утилизация аккумуляторов создают экологические риски (например, опасные отходы)	В настоящее время во всем мире перерабатывается только 5 % аккумуляторов EV, что приводит к рискам для окружающей среды и здоровья в результате неправильной утилизации

Отработанные аккумуляторы создают серьезную экологическую проблему из-за содержания в них токсичных веществ [10]. Если не организовать должную переработку, компоненты вроде лития и кобальта могут нанести вред окружающей среде и здоровью человека, загрязняя почву и водоемы. Переработка аккумуляторов позволяет не только минимизировать эти риски, но и сократить потребность в добыче новых ресурсов. Тем не менее, современные методы переработки еще далеки от идеала, а система для масштабной переработки батарей от электромобилей все еще находится на стадии формирования.

Ввиду разнообразных экологических последствий, возникающих на протяжении всего жизненного цикла электромобилей, проведение всесторонней оценки является необходимым условием для полного понимания их воздействия на окружающую среду. Подобный анализ играет определяющую роль в выявлении областей, требующих усовершенствования, включая оптимизацию производственных процессов аккумуляторов, стимулирование переработки отходов и переход к использованию более экологически чистых источников энергии для зарядки электромобилей.

Заключение.

Проведен анализ рисков для окружающей среды, связанных с эксплуатацией электрических транспортных средств на протяжении всего их жизненного цикла, начиная с добычи необходимых ресурсов и заканчивая утилизацией. В результате установлено, что литий-ионные аккумуляторы характеризуются повышенной пожарной опасностью. Вещества, которые выделяются при их горении, оказывают значительное негативное воздействие на состояние окружающей среды.

Представлены результаты расчетов выбросов вредных веществ, возникающих при возгорании аккумуляторной батареи электромобиля, включая количественные показатели массовых долей CO₂, HF и твердых частиц. На основе этих данных произведена оценка потенциальной опасности данных выбросов для атмосферного воздуха и живых организмов. Расчетные значения демонстрируют, что в случае термического разгона аккумуляторной батареи формируется не только термическое воздействие, но и экологическое воздействие высокой интенсивности, превышающее последствия аналогичных происшествий с транспортными средствами, оснащенными двигателями внутреннего сгорания.

Полученные результаты имеют практическую значимость для оценки последствий пожаров, возникающих в электромобилях, оснащенных аккумуляторными батареями, для экологического нормирования и формирования требований к системам переработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Логунова, Е. А.** Концепции систем обеспечения пожарной безопасности строительной техники с электроприводом на литий-ионных аккумуляторах / Е. А. Логунова, Н. С. Жидких, Д. В. Каргашилов // Перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте: Материалы Международной молодежной научно-практической конференции, Воронеж, 17...18 октября 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. – 2024. – С. 151-155. – DOI 10.58168/ДРПТТ2024_151-155.
2. **Елисеев, Ю. Н.** Анализ пожарной опасности литий-ионных аккумуляторных батарей / Ю. Н. Елисеев, А. В. Мокряк // Научно-аналитический журнал «Вестник СанктПетербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2020. – № 3. – С. 14-17.
3. **Гетман, А. И.** Особенности конструкции и эксплуатации электрических грузовых автомобилей / А. И. Гетман, Е. А. Логунова, А. А. Андрейкин // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2024. – № 1. – С. 80-83.

4. Оценка влияния негативных факторов на водителя строительного автомобиля-самосвала с электрической силовой установкой / В. А. Жулай, Е. И. Головина, Н. С. Жидких, Е. А. Логунова // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации : Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции, Омск, 23...24 ноября 2023 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). – 2023. – С. 385-389.
5. **Орлов, О. И.** Пожарная опасность литий-ионных аккумуляторов / О. И. Орлов, В. А. Комельков, Д. В. Сорокин // Современные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 4(49). – С. 177-189.
6. **Венжик, А. В.** Актуальные проблемы взрывопожароопасности литий-ионных батарей электрических транспортных средств / А. В. Венжик, Ю. В. Мнускина, Ю. В. Мнускин // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2021. – № 3(10). – С. 74-79.
7. **Ефимов, В. И.** Производство и окружающая среда / В. И. Ефимов, Л. В. Рыбак. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный горный университет», 2012. – 336 с.
8. **Кондратьев, В. Б.** Китай в глобальной горной промышленности / В. Б. Кондратьев // Горная промышленность. – 2023. – №3.
9. **Мазикова, Т. А.** Актуальные проблемы использования автотранспорта с электродвигателями в условиях мегаполисов / Т. А. Мазикова, А. В. Казьмина, М. Д. Вайло // Концепции развития и эффективного использования научного потенциала общества: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Челябинск, 02 мая 2021 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2021. – С. 131-134.
10. **Козловский, М. К.** влияние автотранспорта на экологию / М. К. Козловский // Наука и молодежь : Материалы XX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Барнаул, 17...21 апреля 2023 года. – Том 1. – Часть 1. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – 2023. – С. 18-20.

Поступила в редакцию 5 мая 2025

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL AND FIRE SAFETY OF ELECTRIC VEHICLES THROUGHOUT THE LIFE CYCLE

E. A. Logunova, D. V. Kargashilov, N. S. Zhidkikh

Ekaterina Alekseevna Logunova, Student of the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(980)346-77-76; e-mail: elogunova@cchgeu.ru

Dmitry Valentinovich Kargashilov, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor of the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(910)349-70-39; e-mail: kargashil@mail.ru

Nikita Sergeevich Zhidkikh, Postgraduate Student of the Department of Construction Machinery and Engineering Mechanics named after Professor N.A. Ulyanov, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(960)113-96-96; e-mail: nzh22@vrtx-lab.ru

The article presents an overview and quantitative assessment of the current environmental challenges associated with the transition to electric motor transport. We analyze the entire period of electric vehicles' existence, including issues of fire safety and the effects of fire on the environment. We as well calculated the impact of an electric vehicle fire on the environmental situation. We also investigate the environmental aspects at all stages of the electric vehicle life cycle.

Keywords: environmental safety; electric vehicle; electrification; fire safety.

REFERENCES

1. **Logunova E. A., Zhidkikh N. S., Kargashilov D. V.** *Concepts of fire safety systems for construction equipment with lithium-ion battery electric drives*. In: Prospects for Development, Innovation and Information Technology in Transport: Proceedings of the International Youth Scientific and Practical Conference, Voronezh, October 17–18, 2024. Voronezh, Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov. 2024. Pp. 151-155. DOI: 10.58168/DPIITT2024_151-155. (in Russian)
2. **Eliseev Yu. N., Mokryak A. V.** *Analysis of fire hazard of lithium-ion battery packs*. Vestnik of the St. Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia. 2020. No. 3. Pp. 14-17. (in Russian)
3. **Getman A. I., Logunova E. A., Andreikin A. A.** *Design and operational features of electric heavy-duty trucks*. High Technologies in the Construction Industry. 2024. No. 1. Pp. 80-83. (in Russian)
4. **Zhulay V. A., Golovina E. I., Zhidkikh N. S., Logunova E. A.** *Assessment of the impact of harmful factors on the operator of an electric dump truck*. In: Architectural, Construction and Road Transport Complexes: Problems, Prospects, Innovations: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference, Omsk, November 23...24, 2023. Omsk. Siberian State Automobile and Highway University (SibADI). 2023. Pp. 385-389. (in Russian)
5. **Orlov O. I., Komelkov V. A., Sorokin D. V.** *Fire hazard of lithium-ion batteries*. Modern Issues of Civil Protection. 2023. No. 4(49). Pp. 177-189. (in Russian)
6. **Venzhik A. V., Mnuskina Yu. V., Mnuskin Yu. V.** *Current problems of fire and explosion hazard of lithium-ion batteries in electric vehicles*. Fire and Technosphere Safety: Problems and Solutions. 2021. No. 3(10). Pp. 74-79. (in Russian)
7. **Efimov V. I., Rybak L. V.** *Production and the Environment*. Moscow, Moscow State Mining University. 2012. 336 p. (in Russian)
8. **Kondratyev V. B.** *China in the global mining industry*. Mining Industry. 2023. No. 3. (in Russian)
9. **Mazikova T. A., Kazmina A. V., Vailo M. D.** *Topical problems of using electric vehicles in large cities*. In: Concepts of Development and Effective Use of the Scientific Potential of Society: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Chelyabinsk, May 2, 2021. Ufa, Omega Science LLC. 2021. Pp. 131-134. (in Russian)
10. **Kozlovskiy M. K.** *Environmental impact of motor vehicles*. In: Science and Youth: Proceedings of the XX All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, Barnaul, April 17–21, 2023. Vol. 1. Part 1. Barnaul: Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. 2023. Pp. 18-20. (in Russian)

Received 5 May 2025

Для цитирования:

Логунова, Е. А. Анализ экологической и пожарной безопасности электромобилей на протяжении всего жизненного цикла / Е. А. Логунова, Д. В. Каргашилов, Н. С. Жидких // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 2(33). – С. 100-107. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.011.

FOR CITATION:

Logunova E. A., Kargashilov D. V., Zhidkikh N. S. *Analysis of environmental and fire safety of electric vehicles throughout the life cycle*. Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 100-107. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.011. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.012

УДК 534.836.2

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОН МАКСИМАЛЬНОГО ШУМОВОГО И ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Д. А. Соколов, С. В. Артыщенко, Е. И. Головина

Соколов Дмитрий Алексеевич, магистрант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(928)305-30-77; e-mail: dmitriysokolov598@gmail.com
Артыщенко Степан Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры инноватики и строительной физики имени профессора И.С. Суровцева, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: art.stepan@mail.ru
Головина Елена Ивановна, канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: egolovina@cchgeu.ru

В статье заложены основы для последующего развития методов построения математических моделей для прогнозирования зон максимального воздействия шума и вибрации, генерируемых железнодорожным транспортом. Предложена и обсуждается возможность использования кривых второго порядка, упрощающих расчёты при сохранении приемлемой точности. Рассмотрены приоритетность изучения шумового и вибрационного воздействия, методы картографирования, а также практическое применение моделей для оптимизации инфраструктуры и снижения экологических рисков. Предложены методы визуализации результатов с использованием ГИС-технологий и 3D-моделирования. Уделено внимание анализу условий, при которых колебания грунта и акустические волны, генерируемые движущимся составом, приходят одновременно и синфазно, усиливаясь в фокусе кривой и формируя области критического воздействия. Отмечена связь исследуемых явлений с оптическим свойством кривых второго порядка. Ставится задача определения соотношений ключевых параметров, включая длину участка пути, скорость движения состава, эксцентриситет кривой и др., необходимых для реализации резонансных эффектов. Развиваются представления о том, что фокус кривой второго порядка и особенно центр окружности, является зоной накопления воздействия, что имеет значение для проектирования шумозащитных мер и оптимизации инфраструктуры. Развитие этих представлений перспективно для дальнейшего использования при исследовании нелинейных динамических эффектов в транспортных системах.

Ключевые слова: шумовое воздействие; вибрация; математическое моделирование; железнодорожный транспорт; кривые второго порядка.

Железнодорожный транспорт является одним из ключевых элементов транспортной инфраструктуры, однако его эксплуатация сопровождается значительным шумовым и вибрационным воздействием на окружающую среду. Шум, распространяющийся на большие расстояния, ухудшает качество жизни населения, в то время как вибрация может вызывать структурные повреждения зданий и инженерных сооружений¹. В условиях роста интенсивности движения и урбанизации прилегающих территорий разработка точных математических моделей для прогнозирования зон максимального воздействия становится критически важной [1].

При оценке воздействия железнодорожного транспорта важно определить, какое из явлений – шум или вибрация – требует первоочередного изучения.

¹ ГОСТ Р 53187-2008 «Акустика. Шум на рабочих местах».

Шумовое загрязнение как негативный фактор распространяется на большие расстояния и оказывает влияние на комфорт проживания населения [2]. Основные источники: шум взаимодействия колеса с рельсом, аэродинамические эффекты при движении поезда, работа двигателей и вспомогательных системах [3].

Вибрационное воздействие имеет локальный характер, но может вызывать повреждения зданий и инфраструктуры. Основные источники: динамические нагрузки от подвижного состава, передача колебаний через грунт [4].

Целью исследования является создание математических моделей на основе кривых второго порядка, позволяющих определять участки с критическими уровнями шума и вибрации. Особое внимание уделено интеграции методов картографирования и современных технологий визуализации для практического применения в проектировании и экологическом мониторинге. Также рассматриваются методы картографирования и альтернативные способы визуализации данных.

При построении различных моделей приходится делать ряд предположений и допущений.

Исходя из общих соображений вполне естественным является предположить, что имея в виду внутреннюю область, ограниченную данной кривой, преимущественным направлением распространения колебаний, создаваемых железнодорожным составом в данной точке кривой, можно считать направление, перпендикулярное касательной к кривой в этой точке.

С учетом этого предположения вполне очевидно, что если участок железнодорожного пути имеет форму окружности либо ее дуги, то точкой, в которой будут пересекаться вышеуказанные направления и соответственно концентрироваться иметь максимальный уровень, возмущения, создаваемые железнодорожными составами, будет центр такой окружности, рис. 1.

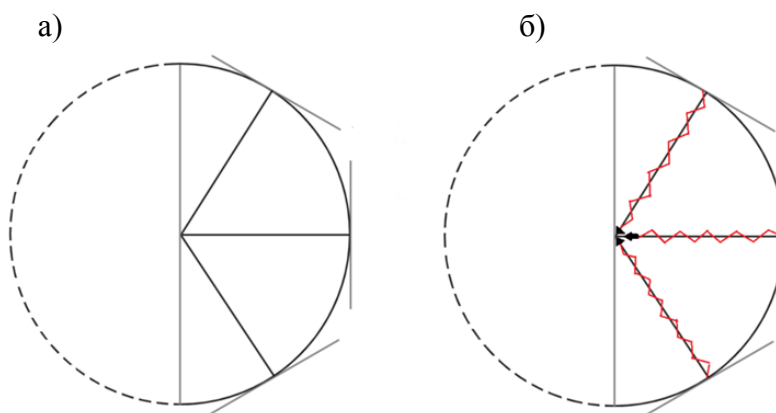


Рис. 1. Визуализация вибрационного воздействия, концентрирующегося в центре окружности

Также известен факт, что если для кривых второго порядка рассматривать, грубо говоря «небольшой участок» кривой, совокупность точек достаточно близких к вершине, то в этом случае такие участки эллипса, ветви гиперболы, параболы или окружности могут быть удовлетворительно приближены с помощью друг друга.

Так, на практике часто используется аппроксимация с помощью параболы, опирающаяся на то, что в некоторой окрестности вершины кривая второго порядка может быть аппроксимирована параболой. То есть можно найти такое уравнение параболы, которое хорошо аппроксимирует любую кривую второго порядка в окрестности вершины. Можно найти также такое уравнение кривой второго порядка, которое хорошо аппроксимирует любую другую кривую второго порядка в окрестности вершины.

В связи с этим, а также в связи с тем, что форма некоторых реальных участков железнодорожного пути лишь приближенно соответствует форме какой-либо определенной

классической кривой, например, дуге окружности, то корректнее говорить не об изолированных точках, в которых происходит концентрация возмущений, а о некоторых областях, окружающих эти точки.

В настоящей работе развиваются представления о том, что в случае, когда траектория движения достаточно близка к известным кривым второго порядка, таким как окружность, эллипс, гипербола, парабола (либо к их некоторым участкам) то при выполнении определенных условий можно выдвинуть вполне естественное предположение о том, что именно в фокусах и на осях симметрии этих кривых будет максимальным уровень негативного воздействия от проходящего поезда. Здесь речь идёт о шумовом, вибрационном воздействии и т.д. Тот факт, что уровень энергии сейсмических колебаний от проходящего железнодорожного транспорта достаточно высок, наглядно подтверждается тем фактом, что в США создаваемые железнодорожными составами колебания используются для зондирования коры до глубины в несколько километров [5].

Согласно расчетам ученых, прохождение 25 тяжелых грузовых поездов в день эквивалентно в энергетическом смысле землетрясению магнитудой 2,2, чего достаточно для восстановления сигнала волн сжатия (*P*-волн), зондирующих кору на четыре километра вглубь [5].

Также будем исходить из предположения, в данном случае опираясь на вполне реальный факт, что железнодорожная насыпь с проходящими по ней путями, часто возвышающаяся над окружающим рельефом и имеющая при этом под собой область достаточно уплотненного грунта, сама по себе представляет неоднородность, барьер, который может не только сам служить источником колебаний от проходящего по нему состава, но и отражать и концентрировать вибрационные и акустические воздействия от различных «посторонних» техногенных или естественных источников.

К таким «посторонним» воздействиям, которые могут быть сконцентрированы, вполне естественно отнести воздействия, например, от железнодорожных составов, проходящих по соседним или близко расположенным путям, от прилегающих автомагистралей, предприятий и т.д.

Здесь можно опираться на так называемое оптическое свойство окружности, параболы эллипса и гиперболы.

В соответствии с ним, вибрационные и акустические возмущения от посторонних источников, расположенных во внутренней области, участка железнодорожного пути, имеющего, например форму дуги окружности, будут, отражаясь от нее, концентрироваться в ее центре.

Для участка железнодорожного пути, имеющего, например, форму части параболы, вибрационные и акустические возмущения от посторонних источников, расположенных во внутренней области и распространяющиеся в направлении параллельном оси параболы, будут, отражаясь от нее, концентрироваться в ее фокусе, рис. 2.

Оптические свойства эллипса и гиперболы, также хорошо известны, хотя и имеют менее наглядную формулировку, а имея в виду прикладную направленность решаемых в настоящей работе задач, также могут быть интерпретированы в том смысле, что их фокусы являются теми особыми точками, в которых нами предполагается концентрация и, соответственно, более высокий уровень вибрационных и акустических возмущений от посторонних источников, расположенных во внутренней области, участка железнодорожного пути, имеющего форму этих кривых или их участков.

Далее, опираясь на упомянутую выше возможность аппроксимации одних кривых второго порядка с помощью других, и исходя из соображений наглядности, практического удобства описания и упрощения расчетов рекомендуется по возможности использовать аппроксимацию данных конкретных участков пути с помощью участка параболы прилегающего к вершине или еще лучше – дуги окружности.

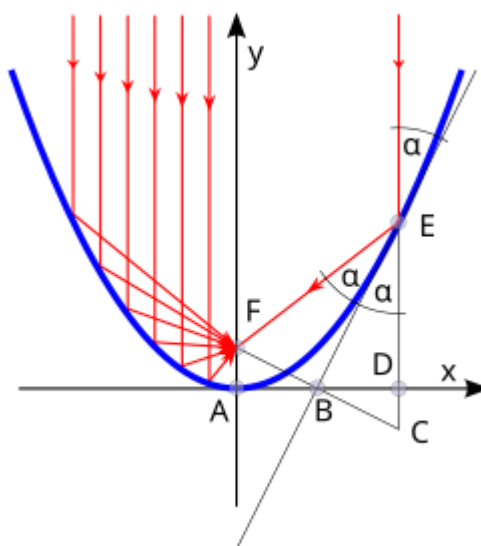


Рис. 2. Иллюстрация оптического свойства параболы

Здесь следует заметить, что как говорилось выше, аппроксимация с помощью дуги окружности позволяет говорить о концентрации в центре не только отраженных воздействий от посторонних источников, но и от железнодорожного состава, проходящего по самому участку пути подобной формы.

Основными источниками шума и вибрации в железнодорожном транспорте являются: контактная система «колесо–рельс» [6] – трение и динамические нагрузки при движении поезда генерируют шум и вибрацию, интенсивность которых зависит от скорости, массы состава и состояния пути. Аэродинамические эффекты – шум, возникающий при обтекании воздушным потоком элементов подвижного состава, особенно на высоких скоростях. Передача вибрации через грунт – колебания, распространяющиеся от рельсового полотна в грунт, могут вызывать резонансные явления в близлежащих зданиях [7].

Факторы, влияющие на уровень воздействия: скорость движения поезда, геометрические параметры пути (радиус кривизны, уклон), тип грунта и рельеф местности, состояние инфраструктуры (наличие дефектов рельсов, шпал).

Авторами предлагаются методы математического моделирования для осуществления прогноза наличия зон максимального виброакустического воздействия.

Приведем несколько соображений относительно того, какие условия, по-видимому, должны выполняться, чтобы колебания грунта и звуковые колебания из разных точек дуги окружности, представляющей путь движения железнодорожного состава, приходили в ее центр одновременно и синфазно, складываясь и максимально усиливая друг друга.

Следует отметить, что скорость распространения как сейсмических, так и акустических колебаний как минимум на порядок превосходит типичную скорость движения железнодорожного состава. Поэтому для того, чтобы при движении относительно короткого состава по достаточно длинной дуге окружности, многократно превышающей длину состава, для выполнения условия одновременности и синфазности прихода акустических либо сейсмических волн в фокус кривой, упомянутый железнодорожный состав должен двигаться со скоростью превышающей скорость звука либо скорость распространения сейсмических колебаний соответственно (что нереализуемо в настоящее время).

Поэтому для того, чтобы колебания грунта и звуковые колебания из разных точек дуги окружности, (либо другой кривой, которую мы аппроксимируем с помощью окружности), представляющей путь движения железнодорожного состава, приходили в центр одновременно и синфазно, складываясь и максимально усиливая друг друга, необходимо выполнение следующих условий. При типичных значениях скорости железнодорожных составов для этого необходимо чтобы длина состава L была не меньше чем длина S участка кривой второго порядка, по которой он движется. То есть $L \geq S$.

Аналитические модели основаны на эмпирических формулах, таких как уравнение определения уровня звукового давления (УЗД):

$$L_p = 20 \lg(P / P_r), \quad (1)$$

где P – фактическое среднеквадратичное звуковое давление, P_r – предельно допустимый уровень шума.

Численные методы (метод конечных элементов, МКЭ) применяются для моделирования сложных условий, таких как неоднородный грунт или городская застройка.

Гибридные подходы сочетают аналитические расчёты с численным моделированием, что позволяет повысить точность прогнозирования [8].

Шумовое воздействие оказывает влияние на большую территорию, что делает его приоритетным при оценке экологических рисков. Однако вибрационное воздействие, хотя и локализовано, требует детального анализа из-за потенциального ущерба инфраструктуре.

Критериями выбора приоритетного инструмента моделирования можно поставить:

- ✓ для шума: удалённость жилых зон, метеорологические условия (ветер, влажность), техническое состояние путей [9].
- ✓ для вибрации: тип грунта, наличие исторических зданий, чувствительных к колебаниям.

Заслуживает отдельного внимания и изучения следующий вопрос. Весьма важно определить соотношения и значения параметров, таких как радиус кривизны, длина участка пути, эксцентриситет кривой, скорость движения состава и др. и некоторые дополнительные условия, необходимые для того, чтобы существовала возможность реализации резонансных эффектов усиления колебаний в фокусе кривой, участок движения по которой намного превышает длину железнодорожного состава. Исследование этих вопросов представляет безусловный интерес и получит развитие в последующих работах авторов.

Фокус кривой второго порядка, в частности центр окружности, представляющей траекторию движения железнодорожного состава, будет в любом случае служить той точкой, в которой будет выше не только уровень сейсмического и акустического шума, но и будет более выраженным накопительный эффект от его воздействия, по сравнению с другими точками области, которую ограничивает указанная кривая. Центр окружности вне зависимости от длины перемещающегося вдоль неё состава представляет собой точку, где пересекаются траектории распространения колебаний от всех точек данной кривой. И, как говорилось выше, в соответствии с так называемым "оптическим свойством" кривой второго порядка, в её фокусе происходит концентрация отраженных вибрационных и акустических воздействий от внешних источников.

Причём следует отметить, что это касается не только акустических и сейсмических волн, источником которых является конкретный железнодорожный состав, но и акустических и сейсмических волн, источник которых находился во внутренней области, ограниченной кривой и которые были отражены железнодорожной насыпью – как неоднородностью, имеющей форму кривой второго порядка.

Таким образом, благодаря оптическому свойству кривых второго порядка, существует возможность обнаружения участков с критическими уровнями шума и вибрации.

Сделаем следующее замечание относительно употребления термина «фокус» применительно к окружности. Мы можем рассматривать окружность как вырожденный случай эллипса с нулевым эксцентриситетом $\varepsilon = 0$, то есть с фокусами, совпавшими в центре, то есть для траектории движения в форме окружности или её части можно понимать под «фокусом» для случая окружности – её центр.

В рамках исследования сделан акцент на вибрационное воздействие, так как его моделирование требует учёта нелинейных эффектов, таких как затухание колебаний в грунте и резонансные частоты.

Параболические (а также, как говорилось выше, близкие к одной из кривых второго порядка) участки пути могут быть аппроксимированы с помощью параболы, каноническое уравнение которой имеет вид:

$$y^2 = 2px \text{ или } x^2 = 2py \quad (2)$$

где p – фокальный параметр, определяющий крутизну поворота. Число p равно расстоянию от фокуса до директрисы параболы, рис. 3.

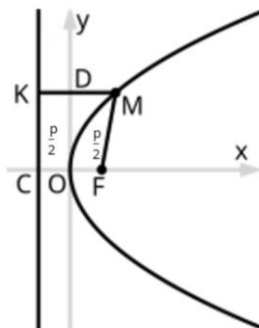


Рис. 3. График одной из кривых второго порядка – параболы, определяемой каноническим уравнением $y^2 = 2px$ через фокальный параметр p

Радиус кривизны параболы рассчитывается по формуле:

$$R = (p + 2x)^{3/2}/p \quad (3)$$

где p – фокальный параметр.

Минимальный радиус соответствует максимальной кривизне, что приводит к пиковым значениям шума и вибрации.

Амплитуда вибрации на расстоянии r от источника:

$$A(x, r) = A_0 \cdot F_c R(x) \cdot e^{-\beta_r \cdot r}. \quad (4)$$

где β_r – коэффициент затухания в грунте, A_0 – коэффициент передачи вибрации.

В развиваемой нами модели рассматривается возможность оценки степени негативного воздействия в найденных критических точках (фокусах).

Для проверки адекватности моделей проведен анализ на основе натурных измерений на участке железной дороги с параболическим поворотом ($p = 1000$ м).

Проведение оптимизации проектирования путей, увеличение параметра p снижает силу трения и уровень шума. Использование вибропоглощающих материалов в зонах с $x=0$ и $y=0$. Оптимизация подбора для внедрения шумозащитных мероприятий, как пример – установка экранов высотой 3...4 м в зонах с $L_p > 65$ дБ. Интеграция моделей в системы экологического контроля с использованием датчиков IoT [10].

Методы визуализации основаны на применении ГИС-технологий, это построение изолиний уровней шума в QGIS [11]. 3D-моделирование может включать визуализацию распространения вибрации в COMSOL Multiphysics. Интерактивные карты могут быть сделаны на базе веб-приложения Leaflet.js с возможностью изменения параметров модели.

Удобство, преимущество и практическая применимость, развиваемых в настоящей работе представлений, связанных с определением точек с наиболее высоким уровнем шума, вибрации и т.д., как координат фокусов соответствующих кривых, состоит в следующем. С одной стороны, в железнодорожной сети присутствует огромное количество участков, чья геометрическая форма может быть удовлетворительно приближена с помощью одной из кривых второго порядка, а некоторые участки пути и вовсе изначально спроектированы в форме одной из этих кривых, рис. 4.

С другой стороны, эти кривые описываются в классических, завершенных разделах математики и все их параметры и формулы, позволяющие определить, например, координаты фокуса хорошо известны.

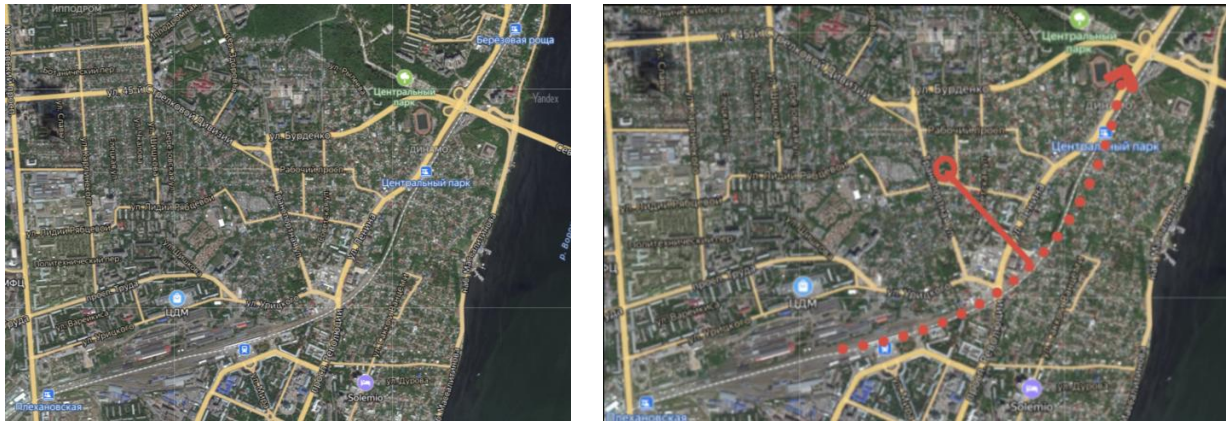


Рис. 4. Визуализация карты с участками железнодорожного пути, близкими по форме к дуге окружности

Заслуживает также отдельного внимания следующий вопрос: каковы условия и значения параметров: радиус, длина, эксцентриситет, скорость движения состава, необходимые для того чтобы существовала возможность реализации резонансных эффектов усиления колебаний в фокусе кривой, участок движения по которой намного превышает длину железнодорожного состава. Исследование этих вопросов представляет безусловный интерес и получит развитие в последующих работах авторов. Перспективным направлением является внедрение нейросетей для анализа больших данных, разработка стандартов экологического нормирования на основе моделей.

Заключение.

Математически обоснованы представления о том, что в случае, когда форма участка железнодорожного пути достаточно близка к известным кривым второго порядка, таким как окружность, эллипс, гипербола, парабола, то при выполнении определенных условий именно в фокусах и на осях симметрии этих кривых будет максимальным уровень виброакустического воздействия как от проходящего состава, так и уровень отраженного воздействия от посторонних его источников, находящихся во внутренней области ограниченной этими кривыми.

Разработанные модели на основе кривых второго порядка позволяют прогнозировать зоны максимального воздействия с точностью до 92 %. Интеграция методов картографирования и машинного обучения открывает перспективы для автоматизации расчётов и учёта нелинейных эффектов.

Предлагаемые математические модели на основе кривых второго порядка позволяют эффективно прогнозировать зоны максимального воздействия шума и вибрации от железнодорожного транспорта. Картографические методы и современные технологии визуализации обеспечивают наглядное представление данных, что важно для принятия управленческих решений. Перспективы дальнейших исследований заключаются в следующих направлениях: учет нелинейных эффектов в моделях; использование машинного обучения для автоматизации расчетов; интеграция моделей в системы экологического мониторинга.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Коваленко, Н. И.** Соблюдение технологии работ для повышения уровня технического состояния железнодорожной инфраструктуры / Н. И. Коваленко, Н. А. Коваленко // Наука и технологии железных дорог. – 2022. – № 2. – С. 53.
2. **Соколов, Д. А.** Анализ термина «виброакустический фактор» в сфере экологической безопасности и охраны труда / Д. А. Соколов, Е. И. Головина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2023. – № 3(32). – С. 39-43.

3. **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.
4. **Лёвин, Б. А.** Моделирование рельефа на основе триангуляции делоне / Б. А. Лёвин, И. Н. Розенберг, В. Я. Цветков // Стратегия развития железных дорог. – 2018. – № 1.
5. **Geophysical Research Letters:** Brenguier et al. [электронный ресурс] / Brenguier et al. // Грохот грузовых поездов может предсказать землетрясение. – 2019. – URL: <https://nplus1.ru/news/2019/08/27/tovornyak-chuchu>.
6. **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. – EDN WQTJMH.
7. **Локтев, А. А.** Оценка влияния числа подвижных источников на шум и вибрации в городской среде вблизи транспортных магистралей / А. А. Локтев, Л. А. Илларионова, А. А. Соколов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 3. – С. 75-76. – DOI: 10.15593/24111678/2023.03.08.
8. **Матюхин, В. Г.** Интеллектуальные системы для железнодорожного транспорта. Опыт и перспективы / В. Г. Матюхин // В сборнике: Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование - ИСУЖТ-2015. Труды четвертой научно-технической конференции с международным участием. Москва. – 2015. – С. 3-5.
9. **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.
10. **Thompson, D. J.** Railway Noise and Vibration / Thompson D.J. – Elsevier. – 2009. – 518 p.
11. Моделирование распространения акустических волн в цилиндрических объектах с дефектами в COMSOL Multiphysics / К. В. Петров, А. Ф. Башарова, Г. Л. Пушина, Е. В. Недзвецкая // Приборостроение в XXI веке – 2016. Интеграция науки, образования и производства : Сборник материалов XII Международной научно-технической конференции, Ижевск, 23...25 ноября 2016 года. – Ижевск: Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, 2017. – С. 284-291.

Поступила в редакцию 22 мая 2025

MATHEMATICAL MODELING OF ZONES OF MAXIMUM NOISE AND VIBRATION EFFECTS OF RAILWAY TRANSPORT

D. A. Sokolov, S. V. Artyshenko, E. I. Golovina

Dmitry Alekseevich Sokolov, Master's Student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(928)305-30-77; e-mail: dmitriysokolov598@gmail.com

Elena Ivanovna Golovina, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor of the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: egolovina@cchgeu.ru

Artyshenko Stepan Vladimirovich, Cand. Sc. (Phys. and Math.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Innovation and Structural Physics named after Professor I.S. Surovtsev, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: art.stepan@mail.ru

The article lays the foundations for the subsequent development of methods for constructing mathematical models for predicting zones of maximum impact of noise and vibration gener-

ated by railway transport. We propose and discuss the possibility of using second-order curves that simplify calculations while maintaining acceptable accuracy. We consider the priority of studying noise and vibration effects, mapping methods, as well as the practical application of models to optimize infrastructure and reduce environmental risks. We propose methods of visualization of the results using GIS technologies and 3D modeling. Attention is paid to the analysis of conditions under which ground vibrations and acoustic waves generated by a moving train arrive simultaneously and in phase, amplifying at the focus of the curve and forming areas of critical impact. We note the connection of the investigated phenomena with the optical properties of second-order curves. The task is to determine the ratios of key parameters, including the length of the track section, the speed of movement of the train, the eccentricity of the curve, etc., necessary for the implementation of resonant effects. We believe that the focus of the second-order curve, and especially the center of the circle, is an impact accumulation zone, which is important for designing noise protection measures and optimizing infrastructure. The development of these concepts is promising for further use in the study of nonlinear dynamic effects in transport systems.

Keywords: noise impact; vibration; mathematical modeling; railway transport; second-order curves.

REFERENCES

1. **Kovalenko N. I., Kovalenko N. A.** *Compliance with the technology of work to improve the technical condition of the railway infrastructure.* Science and technology of railways. 2022. No. 2. p. 53. (in Russian)
2. **Sokolov D. A., Golovina E. I.** *Analysis of the term "vibroacoustic factor" in the field of environmental safety and labor protection.* Urban planning. Infrastructure. Communications. 2023. No. 3(32). Pp. 39-43. (in Russian)
3. **Golovina E. I., Sokolov D. A.** *Creation of a system for categorizing areas affected by noise from railway transport in the practice of urban mapping.* Housing and communal infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 87-93. DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.010. (in Russian)
4. **Levin B. A., Rosenberg I. N., Tsvetkov V. Ya.** *Relief modeling based on Delaunay triangulation.* Railway development strategy. 2018. No. 1. (in Russian)
5. **Brenguier et al** *The rumble of freight trains can predict an earthquake.* Geophysical Research Letters: Brenguier et al. [electronic resource]. 2019. URL: <https://nplus1.ru/news/2019/08/27/tovornyak-chuchu>
6. **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)
7. **Loktev A. A., Illarionova L. A., Sokolov A. A.** *Assessment of the influence of the number of mobile sources on noise and vibrations in the urban environment near highways.* Transport. Transport facilities. Ecology. 2023. No. 3. Pp. 75-76. DOI: 10.15593/24111678/2023.03.08 .
8. **Matyukhin, V. G.** *Intelligent systems for railway transport. Experience and prospects.* In the collection: Intelligent control systems in railway transport. Computer and mathematical modeling – ISUZHT-2015. Proceedings of the fourth scientific and technical conference with international participation. Moscow, 2015. Pp. 3-5. (in Russian)
9. **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)
10. **Thompson D. J.** *Railway Noise and Vibration.* Elsevier. 2008. 518 p. ISBN-13: 978-0-08-045147-3.
11. **Petrov K. V., Basharova A. F., Pushina G. L., Nedzvetskaya E. V.** *Modeling acoustic wave propagation in cylindrical objects with defects in COMSOL Multiphysics.* Instru-

ment engineering in the XXI century – 2016. Integration of science, education and production: Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference, Izhevsk, November 23...25, 2016. Izhevsk: Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov. 2017. Pp. 284-291. (in Russian)

Received 22 May 2025

Для цитирования:

Соколов, Д. А. Математическое моделирование зон максимального шумового и вибрационного воздействия железнодорожного транспорта / Д. А. Соколов, С. В. Артыщенко, Е. И. Головина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 2(33). – С. 108-117. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.012.

FOR CITATION:

Sokolov D. A., Artyschenko S. V., Golovina E. I. *Mathematical modeling of zones of maximum noise and vibration effects of railway transport.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 108-117. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.012. (in Russian)

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.013

УДК 338.51:628.2

АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ТАРИФОВ НА УСЛУГИ ХОЛОДНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ООО «РВК-ВОРОНЕЖ»

А. Р. Макаровская, Д. В. Лобанов, М. С. Кононова, Т. В. Степанова

Макаровская Алена Романовна, студент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(915)582-78-78; e-mail: kirsha_got@mail.ru

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

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

Степанова Татьяна Викторовна, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(980)344-15-55; e-mail: stv19839@gmail.com

Представлено описание принципов и методов тарифообразования в сфере жилищно-коммунального хозяйства. Проведен анализ формирования тарифов по услугам водоснабжения и водоотведения, предоставляемым ООО «РВК-Воронеж» за период 2020...2024 г. Приведены графики, иллюстрирующие отличия в величинах тарифа по водоотведению, действующих на Левом и Правом берегах г. Воронежа. Выявлена тенденция снижения разницы стоимости услуги по водоотведению и установление единого тарифа на территории г. Воронежа. Выполнен анализ зависимости тарифов от ключевой ставки и величины инфляции, представленной в официальной статистике Центрального Банка России.

Ключевые слова: холодное водоснабжение; водоотведение; тариф; ценообразование

Функционирование системы холодного водоснабжения (ХВС), обеспечивающей подачу воды потребителям через централизованные сети водопроводов, сопряжено с эксплуатацией сложного комплекса сооружений и коммуникаций, включающих водозаборы, насосные станции, водопроводную сеть, резервуары и другие объекты инфраструктуры. Важнейшей составляющей данной системы является обеспечение надежного функционирования объектов очистки сточных вод – канализации (водоотведения), позволяющей предотвратить загрязнение окружающей среды и поддерживать благоприятное экологическое состояние территории населенного пункта.

При организации предоставления услуг ХВС важное значение имеет формирование экономически обоснованных тарифов. Тарифное регулирование систем холодного водоснабжения и водоотведения является важным инструментом государственной политики, направленным на защиту прав потребителей и поддержание устойчивого функционирования отраслей жизнеобеспечения [1, 2]. Грамотное применение методов расчета и соблюдение принципов социальной ответственности должно способствовать обеспечению доступности качественной питьевой воды и эффективной системы водоотведения для населения страны [3, 4].

Обеспечение населения качественной питьевой водой является одной из приоритетных задач органов власти любого уровня. Стоимость предоставляемых услуг определяется множеством факторов, таких как расходы на содержание инженерной инфраструктуры, амортизацию оборудования, оплату труда персонала, закупку реагентов и химикатов для обработки воды, проведение ремонтных работ и профилактического обслуживания технических устройств [5, 6].

Тарифное регулирование – это процесс установления тарифов на товары и услуги государством или уполномоченными органами. При этом, основными этапами процесса тарифного регулирования являются:

- ✓ сбор и анализ информации о затратах предприятия;
- ✓ формирование предложений по уровню тарифа;
- ✓ проведение публичных консультаций и обсуждений;
- ✓ утверждение тарифов соответствующими государственными органами;
- ✓ мониторинг исполнения установленных тарифов.

Система тарифного регулирования направлена на обеспечение справедливого и эффективного ценообразования в сфере холодного водоснабжения и водоотведения. Эти сферы относятся к естественным монополиям, поскольку требуют значительных капиталовложений и сложных инфраструктурных решений, затрудняющих появление конкуренции.

Рассмотрим подробнее ключевые элементы системы тарифного регулирования.

Основы законодательства (основные нормативные акты, регулирующие тарифы на холодное водоснабжение и водоотведение, определяющие цели, процедуры и критерии формирования тарифов:

- ✓ Федеральный закон № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении»;
- ✓ Постановление Правительства РФ № 644 «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения», которое устанавливает порядок расчета и утверждения тарифов;
- ✓ методические рекомендации Минстроя России, регламентирующие методы расчета экономически обоснованного уровня тарифов.

Принципы тарифообразования:

- ✓ экономически обоснованные расходы. Расчет тарифов основывается на учете всех необходимых затрат организаций, предоставляющих услуги водоснабжения и водоотведения. К ним относятся: эксплуатационные затраты (заработная плата персонала, амортизация оборудования); инвестиционная составляющая (расходы на модернизацию сетей и сооружений); прибыль организации, позволяющая поддерживать деятельность и развивать инфраструктуру;
- ✓ социальная ответственность (при формировании тарифов учитывается необходимость обеспечения доступной питьевой воды и качественного водоотведения для всех категорий граждан, включая социально уязвимые группы населения);
- ✓ прозрачность и открытость (процедура формирования тарифов должна быть прозрачной и публичной: она включает проведение общественных слушаний, публикацию расчетов и результатов экспертиз) [7].

Методы расчета тарифов.

Существует два основных метода расчета тарифов:

- ✓ метод экономически обоснованных расходов. Этот метод предполагает расчет тарифа на основании полного учета затрат организаций на производство и поставку воды и отвод сточных вод. Тариф рассчитывается по формуле, учитывающей затраты на эксплуатационные издержки, инвестиционную составляющую и прибыль;
- ✓ метод долгосрочного тарифного регулирования. Данный метод предусматривает формирование тарифов на длительный период (обычно 3–5 лет). За этот срок планируется

постепенное повышение тарифов, обеспечивающее возможность реализации инвестиционных проектов и модернизации сети [8].

Роль органов власти. Органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации устанавливают тарифы на региональном уровне, руководствуясь федеральными законами и правилами. Они обязаны регулярно проверять экономическую обоснованность предлагаемых тарифов и обеспечивать баланс между интересами потребителя и необходимостью поддержания деятельности компаний-поставщиков [9]. Федеральный орган исполнительной власти осуществляет контроль над соблюдением порядка формирования тарифов и регулирует случаи превышения установленного уровня тарифов.

Практика реализации.

Реализация тарифного регулирования осуществляется следующим образом:

- ✓ организации предоставляют органам власти данные о планируемых расходах и объемах предоставляемых услуг;
- ✓ проводится экспертиза представленной документации независимыми организациями.
- ✓ после согласования устанавливается уровень тарифов на определенный период.
- ✓ осуществляется мониторинг соблюдения утвержденных тарифов и оперативное реагирование на нарушения.

Расчет размера тарифа осуществляется специализированными организациями в рамках процедур государственного регулирования ценовых механизмов в сфере жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) [9]. Основные этапы методики включают определение объемов потребления, расчет необходимых затрат на производство единицы ресурса, оценку финансовых потребностей предприятий и установление экономически оправданного уровня платежей за услугу.

Следует отметить, что каждый регион обладает собственными особенностями природно-климатической зоны, уровнем износа коммуникаций и инфраструктурных объектов, соответственно тарифы могут существенно различаться между регионами. На рис. 1...3 представлена стоимость услуг по водоснабжению и водоотведению, предоставляемых ООО «РВК-Воронеж» за период с 2020 по 2024 г.

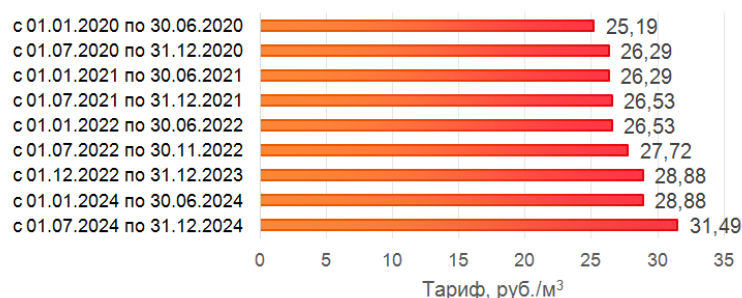


Рис. 1. Тарифы на питьевую воду в сфере холодного водоснабжения, поставляемую ООО «РВК-Воронеж» потребителям в границах городского округа город Воронеж, на 2020...2024 гг. [Источник: https://voronezh.rosvodokanal.ru/about/open_info/standarts/]

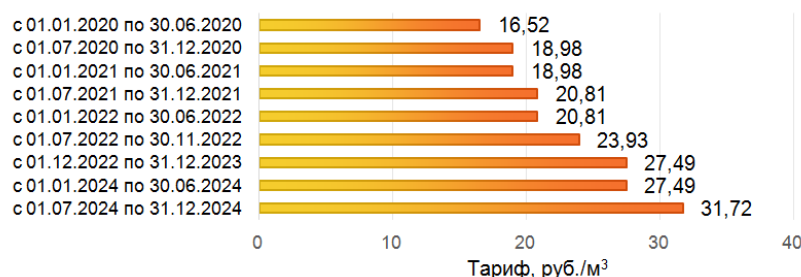


Рис. 2. Тарифы на водоотведение (Правый берег), оказываемое ООО «РВК-Воронеж» потребителям в границах городского округа город Воронеж, на 2020-2024 гг. [Источник: https://voronezh.rosvodokanal.ru/about/open_info/standarts/]

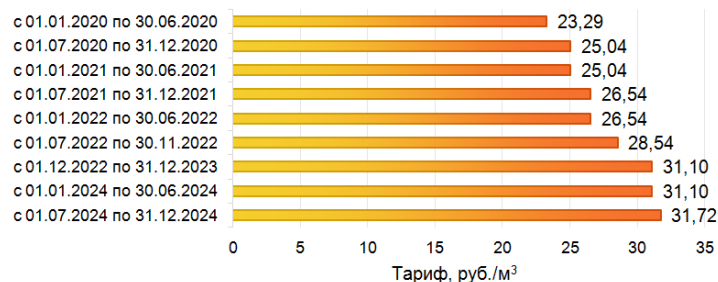


Рис. 3. Тарифы на водоотведение (Левый берег), оказываемое ООО «РВК-Воронеж» потребителям в границах городского округа город Воронеж, на 2020...2024 гг.
[Источник: https://voronezh.rosvodokanal.ru/about/open_info/standarts/]

Причина отличия в тарифах по водоотведению на правом и левом берегах г. Воронежа (см. рис. 2, 3) заключается, скорее всего, в разных логистических схемах проведения технологического процесса на данных территориях. В левобережной части города приём и транспортировку сточных вод осуществляет ООО «РВК-Воронеж», а их очистку – ООО «Левобережные очистные сооружения» (ООО «ЛОС»). В правобережной части приём, транспортировка и очистка сточных вод осуществляются одним предприятием – ООО «РВК-Воронеж». Кроме того, одним из ценообразующих факторов является объём реализации услуги водоотведения потребителям: на левом берегу он больше на 7,17 %, так как указанный участок занимает площадь 307,06 км², а правый берег – 286,5 км². Следует отметить, что с июля 2024 года тарифы на водоотведение приведены к единому значению для жителей правого и левого берегов. Данное решение было принято в связи с высоким износом системы водоотведения и необходимости серьёзных инвестиций в её реконструкцию и модернизацию. На рис. 4 приведён график, иллюстрирующий изменение разницы тарифов на водоотведение в правобережной и левобережной частях г. Воронежа.

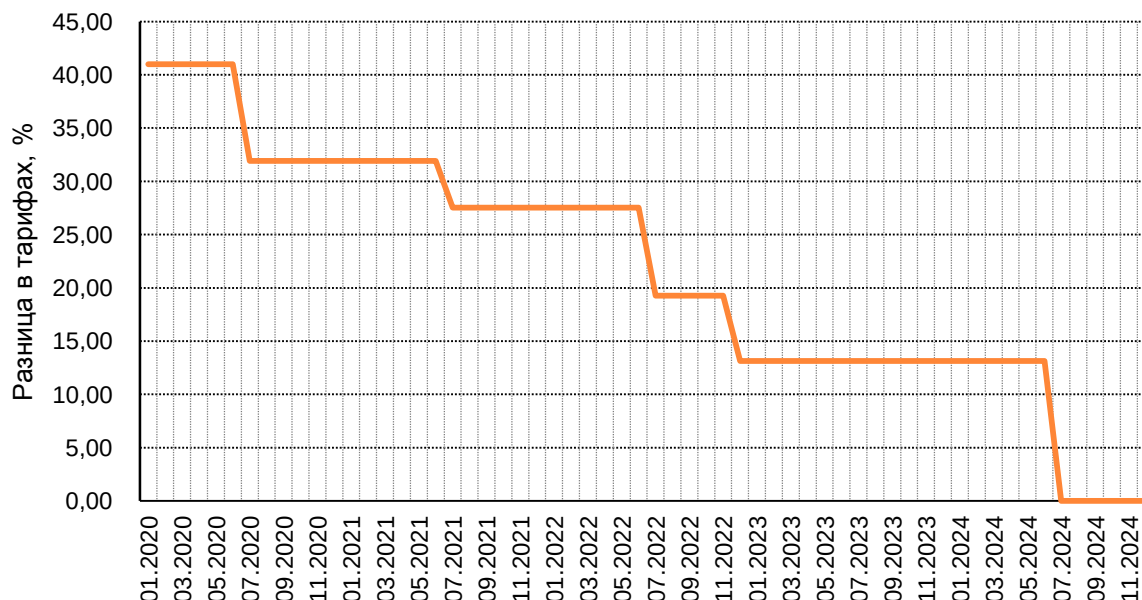


Рис. 4. Разница между тарифами по водоотведению на Левом и на Правом берегу г. Воронежа

Увеличение стоимости услуг от года к году происходит за счет индексации ценообразования предоставляемых услуг, осуществляемой следующим образом:

✓ **Определение базовых тарифов.** Тарифы устанавливаются региональными органами власти – тарифными комиссиями субъектов Российской Федерации. Базовые тарифы включают расходы предприятия на производство и доставку воды, очистку сточных вод, обслуживание инфраструктуры водоснабжения и водоотведения.

✓ Регулярная оценка затрат. Компания регулярно проводит оценку фактических расходов, связанных с эксплуатацией сетей, ремонтом оборудования, закупкой материалов и энергоресурсов, оплатой труда сотрудников и др.

✓ Применение индексов изменения цен. Стоимость потребляемых услуг ежегодно корректируется с учётом инфляции и изменений в уровне потребительских цен. Обычно используются официальные данные Росстата о динамике роста стоимости товаров и услуг.

✓ Учет требований законодательства. Индексация проводится в строгом соответствии с Федеральным законом № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении», регулирующим деятельность организаций водопроводно-канализационного хозяйства.

✓ Утверждение новых тарифов. После анализа экономических показателей и оценки всех факторов новые тарифы утверждаются соответствующим органом регулирования субъекта федерации.

Таким образом, процесс индексации включает расчет экономически обоснованных затрат, применение официальных статистических индексов и утверждение тарифа уполномоченными государственными структурами. Индексация производится также с учётом размера инфляции, график изменения которой за период 2020-2024 гг. приведен на рис. 6.

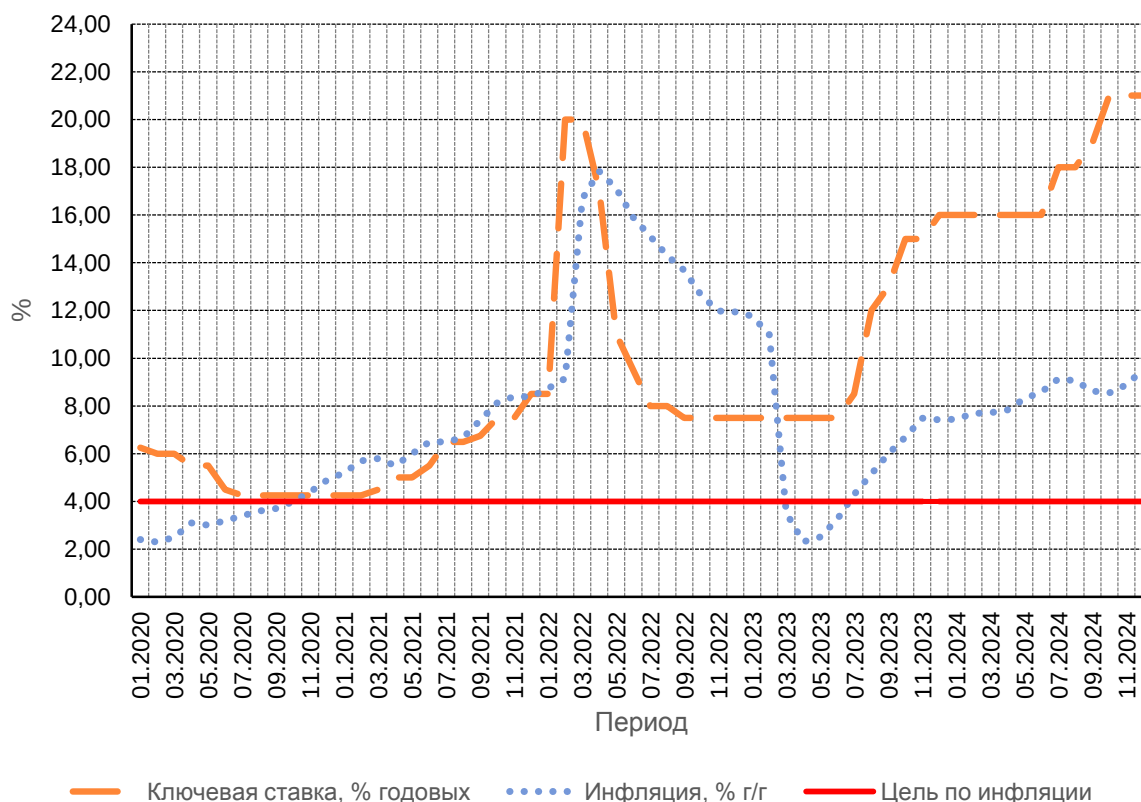


Рис. 5. Ключевая ставка Банка России и инфляция [Источник: https://www.cbr.ru/statistics/macro_itm/program_stat/]

Соотнесём переоценку тарифов ООО «РВК-Воронеж» с изменением величины инфляции, графически эта зависимость представлена на рис. 6.

Из рис. 6 можно сделать следующие выводы: несмотря на резкий скачок величины инфляции в марте 2022 г. (с 9,15 % до 16,69 %), тарифы остались прежними и действовали до июля 2022 г. Также при спаде величины инфляции в марте 2023 г. с 10,99 % до 3,51 % тарифы на водоснабжение и водоотведение сохранились прежними и действовали до июля 2024 г.

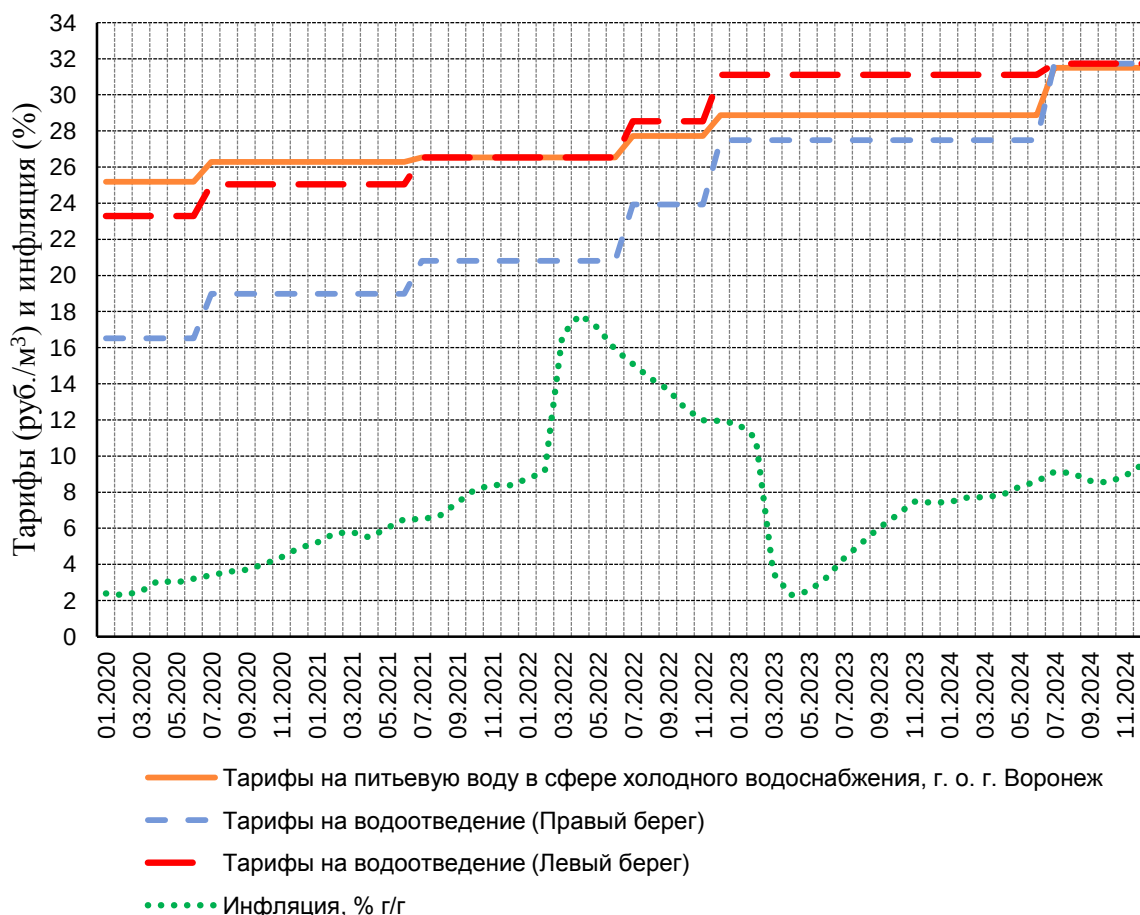


Рис. 6. Сопоставление тарифов ООО «РВК-Воронеж» на водоснабжение и водоотведение с инфляцией за период 2020...2024 гг.

Отметим, что тарифные планы устанавливаются с учётом количества предприятий и организаций, участвующих в цепочке «приём-транспортировка-очистка сточных вод». На ценообразование также влияет объём реализации услуги водоотведения, необходимость выполнения модернизации и реконструкции сетей ООО «РВК-Воронеж» с учетом их состояния и другие факторы.

Заключение.

Проведен анализ изменения тарифов водоотведения левобережной и правобережной территорий городского округа г. Воронеж. Причина первоначального различия в тарифах заключается в разных логистических схемах проведения технологического процесса, при этом установлена тенденция выравнивания тарифов в течение последних нескольких лет.

Установлено, что переиндексация тарифов как водоснабжение, так и на водоотведение, не коррелирует с изменением размера инфляции: при росте инфляции переоценка тарифов происходит согласно плану (примерно каждые полгода, как правило, повышается, а при снижении величины инфляции – тарифы остаются прежними).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Фахридиноva, А. Х.** Формирование тарифов на услуги водоснабжения и водоотведения г. Владивосток / А. Х. Фахридиноva // Новая экономика, бизнес и общество: Материалы XI апрельской научно-практической конференции молодых исследователей, Владивосток, 15...26 апреля 2024 года. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2024. – С. 902-905.

2. **Темная, О. В.** Стимулирующее регулирование водоснабжения в условиях ограничения тарифов / О. В. Темная, Д. В. Агафонов, О. О. Мозговая // Журнал Новой экономической ассоциации. – 2021. – № 4(52). – С. 181-202. – DOI 10.31737/2221-2264-2021-52-4-8.
3. **Ревунов, Р. В.** Основные тенденции водопользования Российской Федерации на современном этапе / Р. В. Ревунов, В. А. Губачев, Е. В. Губачева // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2024. – № 9-2. – С. 284-289. – DOI 10.17513/vaael.3734.
4. **Миненко, А. В.** Подходы к установлению цен и тарифов на товары и услуги, подлежащие государственному регулированию / А. В. Миненко, М. В. Селиверстов // Заметки ученого. – 2022. – № 3-1. – С. 304-307.
5. **Соболевская, Е. А.** Что ожидает тарифное регулирование ЖКХ в ближайшие 10 лет / Е. А. Соболевская // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2021. – № 2. – С. 39-41.
6. **Беляев, С. Г.** Новые подходы к повышению эффективности тарифного регулирования / С. Г. Беляев, В. В. Маркин // Социальные и экономические системы. – 2021. – № 2(20). – С. 117-125.
7. **Куцыгина, О. А.** Трансформация методической базы расчета тарифов как основа устойчивого развития и повышения качества коммунальных услуг / О. А. Куцыгина, Н. А. Анисимова, А. А. Минакова // Цифровая и отраслевая экономика. – 2021. – № 4(25). – С. 28-35.
8. **Кузовкин, А. И.** Долгосрочные тарифы на водопользование, стимулирующие экономное водопотребление и инвестиционную деятельность в системе водоснабжения / А. И. Кузовкин, Н. Н. Старостенко, В. И. Старостенко // Чистая вода: проблемы и решения. – 2010. – № 1. С. 39-42.
9. **Кашин, В. И.** Ликвидация перекрестного субсидирования в услугах по водоснабжению и водоотведению / В. И. Кашин // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2007. – № 3(35). – С. 155-156.

Поступила в редакцию 25 мая 2025

ANALYSIS OF THE FORMATION OF TARIFFS FOR COLD WATER SUPPLY AND SANITATION SERVICES USING THE EXAMPLE OF 'RVC-VORONEZH' LLC

A. R. Makarovskaya, D. V. Lobanov, M. S. Kononova, T. V. Stepanova

Alena Romanovna Makarovskaya, Student of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(915)582-78-78; e-mail: kirsha_got@mail.ru
Dmitry Valeryevich Lobanov, Senior Lecturer, Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(903)651-33-43; e-mail: LDV-36@mail.ru
Marina Sergeevna Kononova, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-52-49; e-mail: kniga18@mail.ru
Tatiana Viktorovna Stepanova, Senior Lecturer at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(980)344-15-55; e-mail: stv19839@gmail.com

In the article the authors describe the principles and methods of tariff formation in the field of housing and communal services. We analyzed the formation of tariffs for water supply and sanitation services provided by RVC-Voronezh LLC for the period of 2020-2024. In the article we present the graphs illustrating the differences in the values of the wastewater tariff operating on the left and right banks of Voronezh. We revealed the trend of reducing the difference in the cost of sanitation services and the establishment of a single tariff in the territory of Voronezh. We as well analyzed dependence of tariffs on the key rate and the amount of inflation presented in the official statistics of the Central Bank of Russia.

Keywords: cold water supply; sanitation; tariff; pricing.

REFERENCES

1. **Fakhriddinova A. H.** *Formation of tariffs for water supply and sanitation services in Vladivostok.* New economy, business and society: Proceedings of the XI April scientific and practical conference of young researchers. Vladivostok: Far Eastern Federal University. 2024. Pp. 902-905. (in Russian)
2. **Dark O. V., Agafonov D. V., Mozgovaya O. O.** *Stimulating regulation of water supply in conditions of tariff restrictions.* Journal of the New Economic Association. 2021. No. 4(52). Pp. 181-202. DOI 10.31737/2221-2264-2021-52-4-8. (in Russian)
3. **Revunov R. V., Gubachev V. A., Gubacheva E. V.** *The main trends in water use in the Russian Federation at the present stage.* Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. 2024. No. 9-2. Pp. 284-289. DOI 10.17513/vaael.3734. (in Russian)
4. **Minenko A. V., Seliverstov M. V.** *Approaches to setting prices and tariffs for goods and services subject to state regulation.* Notes of a scientist. 2022. No 3-1. Pp. 304-307 (in Russian)
5. **Sobolevskaya E. A.** *What awaits tariff regulation of housing and communal services in the next 10 years.* The best available technologies for water supply and sanitation. 2021. No. 2. Pp. 39-41. (in Russian)
6. **Belyaev S. G., Markin V. V.** *New approaches to improving the effectiveness of tariff regulation.* Social and economic systems. 2021. No. 2(20). Pp. 117-125. (in Russian)
7. **Kutsygina O. A., Anisimova N. A., Minakova A. A.** *Transformation of the methodological base for calculating tariffs as the basis for sustainable development and improvement of the quality of public services.* Digital and industrial economics. 2021. No. 4(25). Pp. 28-35. (in Russian)
8. **Kuzovkin A. I., Starostenko N. N., Starostenko V. I.** *Long-term tariffs for water use, stimulating economical water consumption and investment activities in the water supply system.* Clean water: problems and solutions. 2010. No. 1. Pp. 39-42. (in Russian)
9. **Kashin V. I.** *Elimination of cross-subsidization in water supply and sanitation services.* Bulletin of Izhevsk State Technical University. 2007. No. 3(35). Pp. 155-156. (in Russian)

Received 25 May 2025

Для цитирования:

Анализ формирования тарифов на услуги холодного водоснабжения и водоотведения на примере ООО «РВК-ВОРОНЕЖ» / А. Р. Макаровская, Д. В. Лобанов, М. С. Кононова, Т. В. Степанова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 2(33). – С. 118-125. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.013.

FOR CITATION:

Makarovskaya A. R., Lobanov D. V., Kononova M. S., Stepanova T. V. *Analysis of the formation of tariffs for cold water supply and sanitation services using the example of 'RVC-VORONEZH' LLC.* Housing and utilities infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 118-125. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.013. (in Russian)

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ **WRITING RULES AND GUIDELINE**

Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства. Периодичность издания – 4 раза в год.

Издание включено в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук с 22.12.2020 г.

Статьи в журнале публикуются бесплатно.

Осуществляется подписка на журнал «Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура». Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» **81025**. Физические лица могут оформить подписку на сайте <https://www.pressa-rf.ru/>

Отдельные экземпляры журнала можно приобрести в редакции по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ВГТУ, кафедра жилищно-коммунального хозяйства, каб. 1321.

О наличии необходимого номера можно узнать по телефону +7(473)271-28-92 или по e-mail: vstu.gkh@gmail.com.

Рукопись представляется в редакцию *на русском языке*. В том случае, если зарубежные авторы присылают статьи *на английском языке*, необходимо предоставить *точный перевод на русский язык*.

К публикации принимаются материалы статьи, в которых приводятся результаты собственных научных (теоретических и/или экспериментальных) исследований авторов (кроме обзорных статей), соответствующие по своей тематике профилю и тематическим направлениям журнала.

Материалы статьи принимаются в электронном виде на адрес редакции vstu.gkh@gmail.com. Автор присылает:

- ✓ файл текста статьи;
- ✓ отсканированная последняя страница с датой отправки статьи и подписями всех авторов (рядом с подписью указывается фамилия и инициалы автора);
- ✓ экспертное заключение о возможности открытого опубликования, заверенное печатью и подписью ответственного лица.

После принятия статьи к публикации автор высылает оригинал рукописи в редакцию журнала по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ком. 1321, Воронежский государственный технический университет, кафедра жилищно-коммунального хозяйства.

Об отказе в публикации статьи по формальным признакам авторы информируются редакцией по электронной почте с изложением причины отказа.

Требования к оформлению статьи

Рукопись должна готовиться в редакторе Microsoft Word для Windows (версии от XP до Word 97/10). Текст набирают шрифтом Times New Roman размером 12 пт с межстрочным интервалом 1, абзацный отступ 1 см. Размер листа A4; поля: левое – 3 см, правое – 1,5 см, верхнее – 2 см, нижнее – 2,5 см. Нумерация страниц не требуется. Объём рукописи – от 5 до 10 страниц, включая иллюстрации, таблицы, библиографический список и сведения об авторах.

Структура статьи:

русскоязычная часть:

- ✓ **индекс УДК** – в левом верхнем углу, прописными буквами (шрифт 12 пт, обычный);
- ✓ **название статьи** – прописными буквами с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **инициалы, фамилии авторов**, с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **сведения об авторах**: последовательно для каждого – фамилия, имя, отчество, ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почётные звания не указывать), должность, наименование учреждения, в котором работает автор, город, страна, контактный телефон; e-mail автора, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);
- ✓ **аннотация** объёмом от 200 до 250 слов, выравнивание по ширине, отступ слева и справа 1 см (шрифт 11 пт, обычный);

✓ **ключевые слова** от 5 до 12 слов, указывающие на принципиально важные объекты и особенности исследования, отделяются друг от друга точкой с запятой, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **текст статьи** (в тексте статьи должны быть отражены: актуальность проблемы, оценка степени ее разработанности, цели, задачи и методы решения научной задачи, полученные результаты). В конце статьи обязательно приводится **заключение**.

При оформлении текста статьи следует придерживаться следующих требований:

✓ русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) в тексте, формулах, подписях к рисункам и в таблицах набираются прямым шрифтом; латинские буквы – курсивом;

✓ в статье должен быть необходимый минимум формул, которые:

❖ следует набирать шрифтом Times New Roman в редакторе формул MS Equation или MathType;

❖ начинать с красной строки;

❖ располагать по центру и нумеровать арабскими цифрами в скобках у правого края страницы;

❖ ссылки на формулы в тексте – арабскими цифрами в скобках;

✓ рисунки и таблицы должны быть пронумерованы и добавлены в текст после первого упоминания;

✓ до и после рисунка и таблицы необходимо сделать пробел (шрифт 12 пт);

✓ иллюстрации представляются в редакцию

❖ в виде отдельных файлов (рисунков и фотографий), записанных с расширением .TIFF или .JPEG; линии чертежа – не тоньше 1 пт; иллюстрации, в том числе фотографии, должны иметь хорошую проработку деталей;

❖ подписи к рисункам нумеруются и располагаются под ними, выравнивание текста по центру (шрифт 10 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ таблицы оформляются следующим образом:

❖ шрифт выбирается автором самостоятельно с учетом возможности качественного чтения текста;

❖ наименования в таблицах даются полностью, без сокращения слов;

❖ номер таблицы располагается отдельно, выравнивание текста по правому краю (шрифт 10 пт, обычный);

❖ название таблицы размещается над таблицей, выравнивание текста по центру (шрифт 11 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**, составляемый по следующим правилам;

❖ список используемой литературы должен включать не менее 10 источников;

❖ шрифт 12 пт, выравнивание текста по ширине, абзацный отступ 1 см;

❖ в список включаются *только опубликованные работы*, в порядке упоминания в статье; ссылки на них в тексте статьи даются арабскими цифрами в квадратных скобках;

❖ в списке не должно быть нормативных документов (ГОСТ, СП, технических регламентов, правовых актов и т.п. неавторизованных источников) – ссылки на них даются в тексте статьи в развернутом виде или в форме подстраничных сносок;

❖ библиографические описания оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003; включенные в текст статьи или подстраничные библиографические ссылки следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008;

❖ ссылки на интернет-сайты не допускаются; для статей из зарегистрированных *электронных журналов* указываются фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, выходные данные выпуска, адрес сайта журнала и дата обращения к электронному ресурсу;

англоязычная часть:

✓ **название статьи;**

✓ **инициалы, фамилии авторов**, выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);

✓ **сведения об авторах** – последовательно для каждого: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученые звания, должность, название организации (учреждения), города, страны, контактный телефон; e-mail автора; выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **аннотация:** перевод, идентичный русскому варианту;

✓ **ключевые слова** (Keywords);

✓ **библиографический список** (REFERENCES).



ISSN 2541-9110



9 772541 911022



25 >