

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

# ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 1(36), 2026

Воронежский государственный технический университет



*Строительные конструкции,  
здания и сооружения*

*Градостроительство.  
Реконструкция, реставрация  
и благоустройство*

*Инженерные системы  
и коммуникации*

*Экология и безопасность  
городской среды*

*Экономика и организация  
строительства*

*Дорожно-транспортное  
хозяйство  
и строительная техника*

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

**ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО  
и коммунальная инфраструктура**

**№ 1(36), 2026**

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

**ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО  
и коммунальная инфраструктура**

**Адрес редакции:**

394006, Россия,  
г. Воронеж,  
ул. 20-летия Октября, дом 84, корп. I, ауд. 1326,  
тел.: (473) 271-28-92;  
e-mail: [vstu.gkh@gmail.com](mailto: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 электронном каталоге «Почта России» ПД039**

**Воронеж**



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

Scientific journal

Voronezh State Technical University

## Housing and Utilities Infrastructure



The journal has been publishing since 2017

Founder and publisher:

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

*Address of the publisher and founder:*

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

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

*Published 4 times a year*

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

**Journal publishes materials on the following topics:**

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

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

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

**Subscription index in the electronic catalog "Russian Post" PD039**

**Voronezh**

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**Главный редактор – Яременко Сергей Анатольевич**, проректор по учебной работе (Воронежский государственный технический университет)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Дизайн обложки:* Якубенко А. В. *Фото обложки:* <https://36pix.ru/vrn>

*Редактор переводов:* Козлова В. В.

**Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России» ПД039**

Дата выхода в свет 31.03.2026. Усл. печ. л. 13,7. Формат 60×84/8. Тираж 34 экз. Заказ № 340

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](mailto:vstu.gkh@gmail.com).

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

EDITORIAL BOARD

**Editor-in-Chief** – **Sergey Anatolevich Yaremenko**, Vice-Rector for Academic Affairs (Voronezh State Technical University)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Korol' E. A.**, Dr. Sc. (Technical), Prof., corresponding member of The Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, honored Builder of Russia, the academicians 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://36pix.ru/vrn>

*Translation editor:* V. V. Kozlova

**Subscription index in the electronic catalog "Russian Post" PD039**

Date of publication 31.03.2026. Conventional printed sheets 13,7. Format 60×84/8. Circulation 34 copies. Order 340

Registration certificate III № ФС 77 – 69631 02.05.2017

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

Free price

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

*Шмелев Г. Д., Ишков А. Н., Алирзаев И. Ш.*

Результаты практического применения методики прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций.....9

*Чередниченко Т. Ф., Николаева В. И.*

Исследование перспективных технологических решений по устройству покрытий полов и площадок в спортивных зонах.....22

*Зайцев А. М., Колосов А. И., Болгов В. А.*

Аналитическое решение и алгоритм расчета прогрева огнезащищенных стальных конструкций при воздействии углеводородных пожаров.....32

### ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

*Китаев Д. Н., Куцыгина О. А., Хомяков М. С.*

Уточнение расчета нормативного сезонного запаса твердого топлива для коммунальных котельных.....42

*Колядин Н. А., Попов О. Н., Рогов И. В.*

Разработка конвективно-лучевой системы отопления теплицы.....50

*Пурусова И. Ю.*

Оценка энергоэффективной работы погружных насосов на водозаборах подземных вод.....61

*Мовчан С. И.*

Обработка сточных вод гальванического производства промышленных предприятий с использованием реагентов.....68

### ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО

*Литвинов Д. В., Орлова Н. А., Косенкова Н. А.*

Русско-византийский стиль в Самарской архитектуре.....76

*Коростелева Н. В., Козьмина Е. Ю.*

Перспективы внедрения 3d-печати в благоустройство территорий города Волгограда.....87

### ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

*Головина Е. И., Соколов Д. А., Артыщенко С. В., Пилосян А. А.*

Моделирование систем мониторинга шума и вибрации на железнодорожном транспорте: теоретические аспекты и обзор актуальных технологических решений.....94

*Иванова О. О., Зимницкая А. О., Сергина Н. М., Мензелинцева Н. В.*

Исследование запыленности воздушной среды придорожных территорий дорог районного назначения.....103

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

*Хасан И. К., Прусова В. И., Жидкова М. А., Артанова Л. И.*

Анализ влияния комфортности городской среды на экономический рост на примере города Москвы.....110

**ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....117**

## CONTENTS

### BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

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

The results of the practical application of the methodology for predicting the remaining service life of building structures.....9

*Cherednichenko T. F., Nikolaeva V. I.*

Improvement of flooring installation methods in sports facilities using resource-saving technologies.....22

*Zaitsev A. M., Kolosov A. I., Bolgov V. A.*

Analytical solution and algorithm of calculation of fire-resistant steel structures heating under the influence of hydrocarbon fires.....32

### ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES

*Kitaev D. N., Kutsygina O. A., Khomyakov M. S.*

Clarification of the calculation for the standard seasonal reserve of solid fuel for municipal boiler rooms.....42

*Kolyadin N. A., Popov O. N., Rogov I. V.*

Development of a radiant-convective heating system for greenhouses.....50

*Purusova I. Yu.*

Evaluation of energy-efficient operation of submersible pumps at underground water intakes.....61

*Movchan S. I.*

Treatment of wastewater from galvanic production of industrial enterprises using reagents.....68

### URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

*Litvinov D. V., Orlova N. A., Kosenkova N. A.*

Russian-byzantine style in architecture of Samara-city.....76

*Korosteleva N. V., Kozmina E. Yu.*

Prospects for the introduction of 3d printing in the improvement of the territories of the city of Volgograd.....87

### ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

*Golovina E. I., Sokolov D. A., Artyshenko S. V., Pilosyan A. A.*

Simulation of noise and vibration monitoring systems in railway transport: theoretical aspects and an overview of current technological solutions.....94

*Ivanova O. O., Zimnitskaya A. O., Sergina N. M., Menzelintseva N. V.*

Study of dust contamination of the air environment in roadside areas of district roads.....103

### ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

*Khasan I. K., Prusova V. I., Zhidkova M. A., Artanova L. I.*

Analysis of the impact of the urban environment comfort on economic growth using the example of the city of Moscow.....110

**WRITING RULES AND GUIDELINES.....117**

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

DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.001

УДК 624.046.2:69.059.4

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ СРОКОВ СЛУЖБЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков, И. Ш. Алирзаев**

---

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

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

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

---

Описано практическое применение разработанной авторским коллективом методики комплексного интегрального прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. Методика включает экспертные, параметрические методы, а также методы «нагрузка – несущая способность» и «нагрузка – деформации». Представлены результаты научно-исследовательской работы по оценке фактической несущей способности и расчету остаточного ресурса конструкций покрытия плавательного бассейна. Здание к моменту проведения обследования эксплуатировалось не менее 24 лет. Приведены результаты визуального обследования, демонстрирующие значительное коррозионное повреждение рабочей стальной арматуры железобетонных ребристых плит покрытия с частичным или полным разрушением защитного слоя бетона. На основании обследований по авторской методике были выполнены прогнозы изменения прочности бетона, глубины коррозионных повреждений арматуры, а также несущей способности плит (по моменту и поперечной силе) и их прогибов во времени с учетом выявленных дефектов (повреждений). При выполнении прогнозов коррозии арматуры были использованы модели сплошной равномерной и неравномерной «серповидной» коррозии. Для аварийных и поврежденных плит были разработаны и выполнены ремонтные мероприятия. Проведено сравнение выполненных в 2006 году прогнозов с современным состоянием плит перекрытий, подтвердившее состоятельность авторской методики.

**Ключевые слова:** прогноз остаточного срока службы; прочность бетона; коррозия арматуры; несущая способность; ребристые железобетонные плиты; прогиб.

В практике выполнения работ по обследованию фактического технического состояния объектов капитального строительства различного назначения часто возникает необходимость в построении прогнозных моделей старения строительных конструкций и составляющих их материалов [1...6] и расчета на основе этих моделей остаточных сроков службы как самих строительных конструкций, так и зданий (сооружений) в целом. Такие требования предъявляются к результатам обследований в области экспертизы промышленной безопасности, при мониторинге зданий и сооружений и в ряде других случаев.

К настоящему времени разработано несколько различных методик прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций [7...12]. Часть из них основана

на экспоненциальной модели распределения, которая значительно упрощает процесс прогнозирования. Однако при этом, как отмечалось ранее в ряде публикаций различных авторов, использование экспоненциальной модели хорошо описывает распределение времени безотказной работы объектов при внезапных отказах, распределение времени между соседними отказами и времени восстановления, но для объектов, у которых явно выражены при эксплуатации явления износа и старения, применение экспоненциального закона недопустимо [13]. В работе [13] на основе проведенного глубокого анализа, показано, что использование модели экспоненциальной зависимости распределения случайной величины для прогноза процессов, имеющих явные износные отказы и признаки старения, которые характерны для строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений, недопустимо.

Авторским коллективом разработана методика комплексного интегрального прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений, опубликованная в работах [14...19]. Методика предусматривает несколько методов определения остаточных сроков службы строительных конструкций: экспертные, параметрические, «нагрузка – несущая способность» и «нагрузка – деформации». С использованием указанной методики было выполнено прогнозирование целого ряда объектов различного уровня ответственности: продление ресурса зданий и сооружений на Нововоронежской АЭС (3...5 энергоблоки) [20, 21]; продление ресурса зданий и сооружений на Кольской АЭС (1...4 энергоблоки) [22]; и целый ряд других объектов [23].

В 2006 году на основании обращения руководства Дворца подводного спорта с 50-ти метровым плавательным бассейном для взрослых специалистами Воронежского государственного архитектурно-строительного университета была проведена научно-исследовательская работа по оценке фактической несущей способности и расчету остаточного ресурса конструкций покрытия плавательного бассейна. По результатам обследования составлен 338 страничный отчет. При проведении обследования был проведен комплекс работ, включающий в том числе:

- ✓ инструментальное обследование (контроль качества стали стропильных ферм, оценка фактической прочности бетона плит покрытия, оценка глубины коррозионных повреждений стальной арматуры плит покрытия, химический анализ бетона плит покрытия, контроль фактических прогибов стальных ферм и железобетонных плит покрытия);
- ✓ инженерное обследование (расчет глубины и времени карбонизации бетона плит покрытия, расчет скорости коррозии арматуры плит покрытия, поверочные расчеты стальных ферм и железобетонных плит покрытия, теплотехнические расчеты покрытия, анализ результатов обследования);
- ✓ разработка мероприятий по ремонту и усилению конструкций;
- ✓ оценка остаточных сроков службы конструкций покрытия (стальных ферм и железобетонных плит покрытия).

Проведенная аналитическая работа выполнена с использованием материалов научно-исследовательского отчета «Оценка фактической несущей способности и расчет остаточного ресурса конструкций покрытия плавательного бассейна над ванной для взрослых», выполненного в 2006 г.

К моменту проведения обследования здание, построенное в период с 1975 по 1982 год, эксплуатировалось не менее 24 лет. В ходе проведенного визуального обследования железобетонных ребристых плит покрытия над ванной бассейна было выявлено значительное коррозионное повреждение рабочей стальной арматуры с частичным или полным разрушением защитного слоя бетона продольных и поперечных ребер плит (рис. 1), в том числе и в зоне анкеровки продольной предварительно напряженной арматуры продольных ребер плит (правый нижний снимок на рис. 1).

На представленных фотографиях (рис. 1) видно, что арматура в продольных и поперечных ребрах плит значительно оголена ввиду полного или частичного разрушения защитного слоя бетона.



Рис. 1. Коррозионные повреждения продольной рабочей арматуры в продольных и поперечных ребрах ребристых железобетонных плит покрытия над ванной бассейна сопровождающиеся разрушением защитного слоя бетона (Бассейн подводного спорта. г. Воронеж. Фотографии 2006 года)

В ходе проведенного инструментального обследования было выявлено, что в покрытии бассейна использовано два типа плит. Плиты первого типа были армированы продольной рабочей арматурой диаметром 25 мм (по 1 стержню в каждом продольном ребре). Плиты второго типа имели в качестве рабочей арматуры стержни диаметром 18 мм (по 2 стержня в каждом продольном ребре). В ходе инструментального обследования ребристых железобетонных плит покрытия были выполнены следующие виды измерений: оценка фактической прочности бетона плит покрытия, оценка глубины коррозионных повреждений стальной арматуры плит покрытия, химический анализ бетона плит покрытия, контроль фактических прогибов железобетонных плит покрытия.

Глубина коррозионных повреждений арматуры в плитах определялась двумя способами: непосредственным измерением на открытых участках и расчетным способом на участках без оголения арматуры и с продольными трещинами вдоль нее (косвенное свидетельство развития коррозионного процесса на стальной арматуре в бетоне). По результатам измерений и расчетов установлена максимальная скорость коррозии арматуры в условиях повышенной влажности (до 99 %) и воздействия хлоридов (результат испарения хлорированной воды с поверхности ванны бассейна) – 0,075 мм/год (по данным «Рекомендаций по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных предприятий и сооружений при их реконструкции и восстановлении». Москва: Стройиздат, 1990).

Содержание хлоридов в бетоне определялось по результатам отбора проб бетона с разной глубины плит в несущих поперечных ребрах. Содержание хлоридов в бетоне на глубинах от 2,5 до 8,0 см оказалось практически постоянным и равным 11,5 % от массы бетона. Эти данные были использованы при расчете скорости и глубины карбонизации защитного слоя бетона плит.

На основании полученных данных визуального и инструментального обследований были выполнены прогнозы изменения прочности бетона плит во времени, а также глубины коррозионных повреждений арматуры. Для оценки коррозионных повреждений арматуры были использованы модели: сплошной равномерной коррозии и неравномерной «серповидной» коррозии [15, 19].

Основные результаты проведенных исследований по обоснованию остаточных сроков службы представлены в виде графиков прогноза возможных изменений несущей способности и прогибов железобетонных ребристых плит покрытия над бассейном (рис. 2... рис. 9)

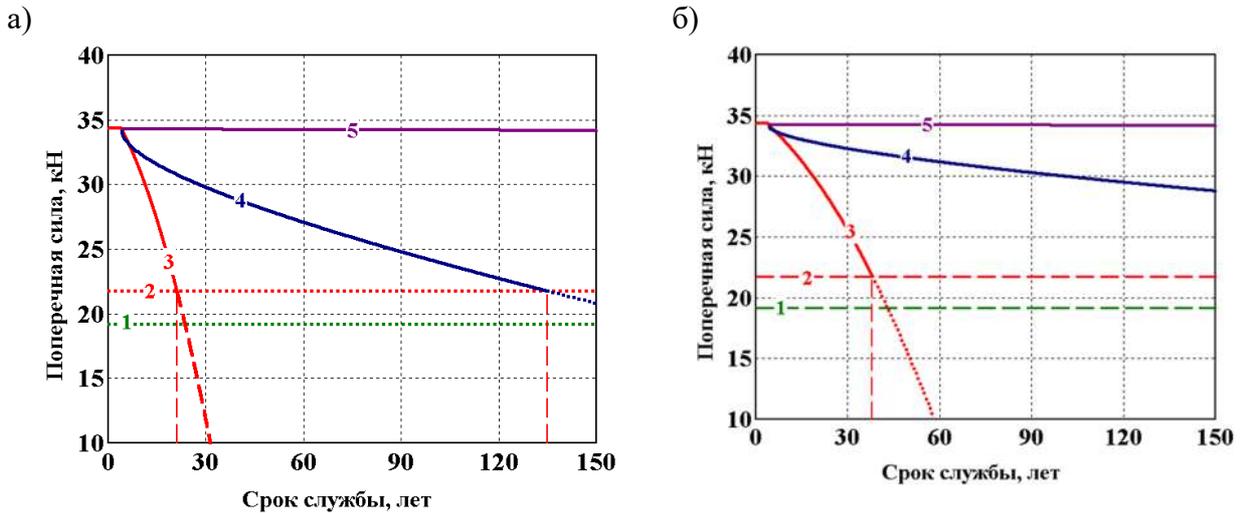


Рис. 2. Графики прогноза расчетных остаточных сроков службы ребристых железобетонных плит покрытия по прочности наклонных сечений из условия развития коррозии арматуры по схемам равномерной (а) и неравномерной (б) коррозии без учета изменения прочности бетона:

- 1 – расчетное значение поперечной силы от фактической нагрузки на плиты покрытия;
- 2 – расчетное значение поперечной силы от прогнозируемой нагрузки на плиты покрытия;
- 3 – несущая способность плит покрытия при скорости коррозии для слабоагрессивной среды 0,075 мм/год;
- 4 – несущая способность для плит с поврежденным защитным слоем бетона;
- 5 – несущая способность для плит с неповрежденным защитным слоем бетона

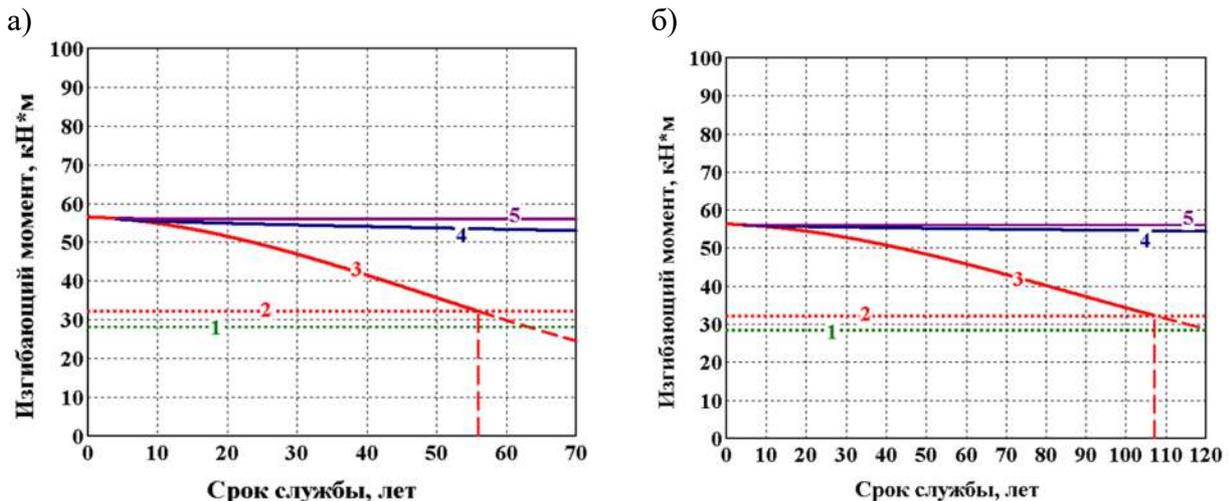


Рис. 3. Графики прогноза расчетных остаточных сроков службы ребристых железобетонных плит покрытия бассейна по прочности нормальных сечений на действие изгибающего момента с учетом развития коррозии арматуры по схемам равномерной (а) и неравномерной (б) коррозии, армированных 2 стержнями  $d$  25 мм:

- 1 – расчетный изгибающий момент от фактической нагрузки на плиты покрытия;
- 2 – расчетный изгибающий момент от прогнозируемой нагрузки на плиты покрытия;
- 3, 4, 5 – см. обозначения на рис. 2

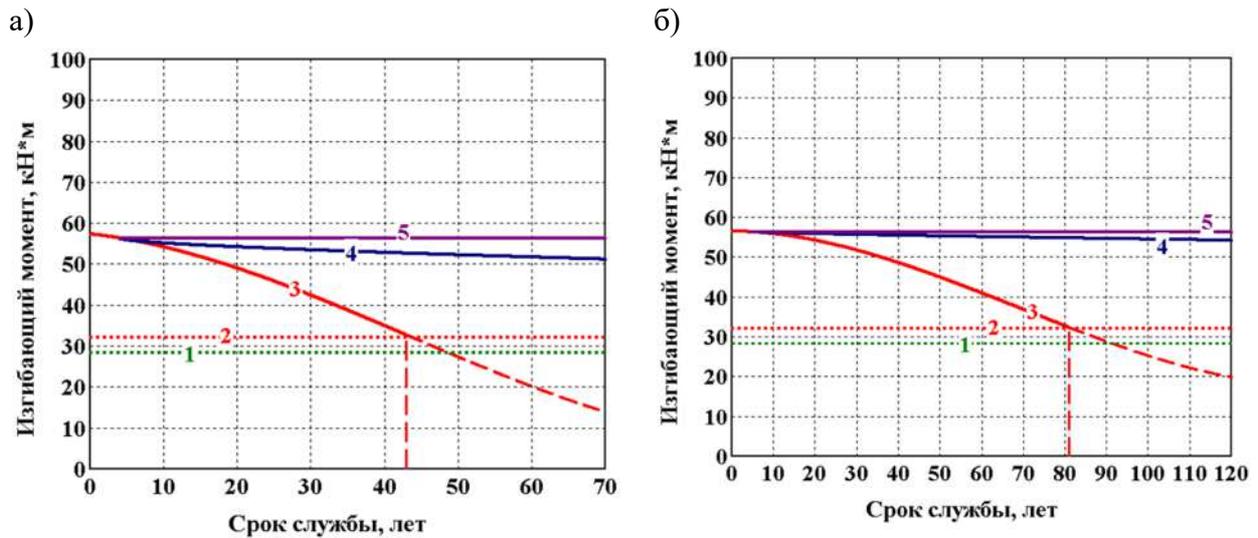


Рис. 4. Графики прогноза расчетных остаточных сроков службы ребристых железобетонных плит покрытия бассейна по прочности нормальных сечений на действие изгибающего момента с учетом развития коррозии арматуры по схемам равномерной (а) и неравномерной (б) коррозии, армированных 4 стержнями  $d$  18 мм:

- 1 – расчетный изгибающий момент от фактической нагрузки на плиты покрытия;
- 2 – расчетный изгибающий момент от прогнозируемой нагрузки на плиты покрытия;
- 3 – несущая способность плит покрытия при скорости коррозии для слабоагрессивной среды 0,075 мм/год;
- 4 – несущая способность для плит с поврежденным защитным слоем бетона;
- 5 – несущая способность для плит с неповрежденным защитным слоем бетона

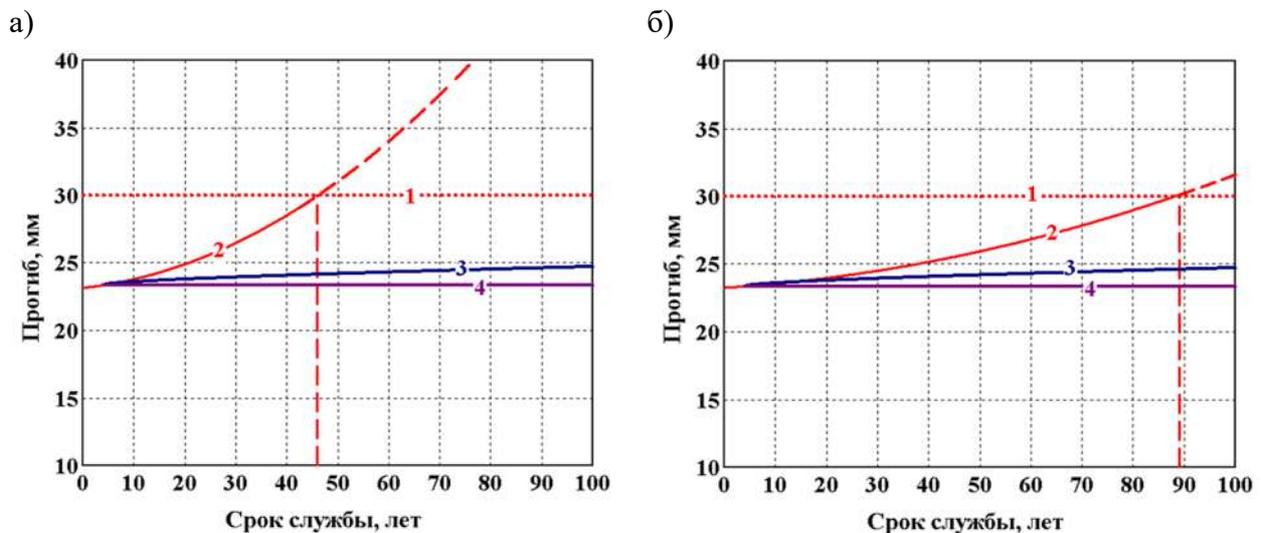


Рис. 5. Графики прогноза расчетного остаточного срока службы ребристых железобетонных плит покрытия по деформациям из условия развития по схемам равномерной (а) и неравномерной (б) коррозии арматуры без учета изменений прочности бетона во времени, армированных 2 стержнями  $d$  25 мм:

- 1 – предельно допустимый прогиб по нормам;
- 2 – расчетный прогиб плит покрытия при скорости коррозии для слабоагрессивной среды 0,075 мм/год;
- 3 – расчетный прогиб для плит с поврежденным защитным слоем бетона;
- 4 – расчетный прогиб для плит с неповрежденным защитным слоем бетона

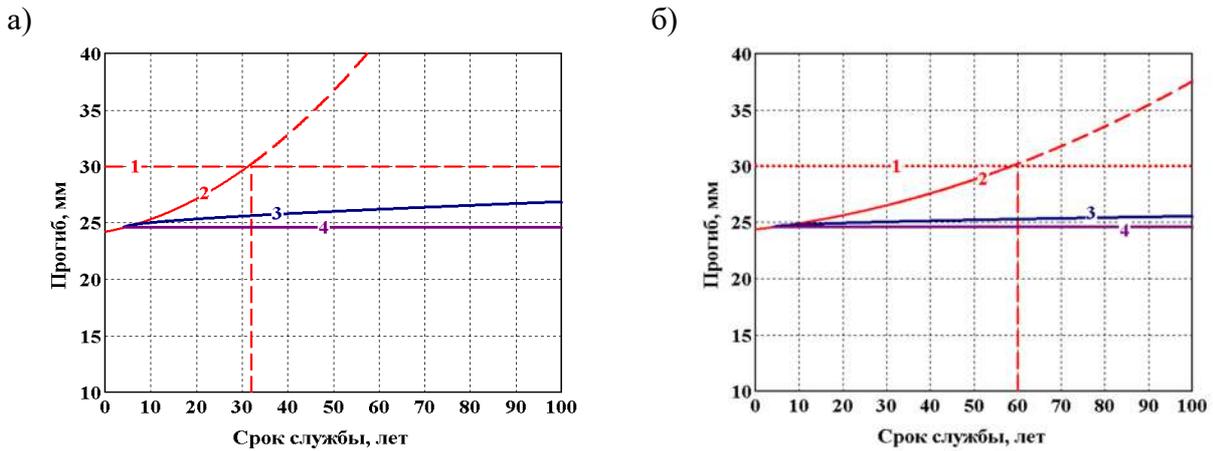


Рис. 6. Графики прогноза расчетного остаточного срока службы ребристых железобетонных плит покрытия по деформациям из условия развития по схемам равномерной (а) и неравномерной (б) коррозии арматуры без учета изменений прочности бетона во времени, армированных 4 стержнями  $d$  18 мм: 1...5 – см. обозначения на рис. 5

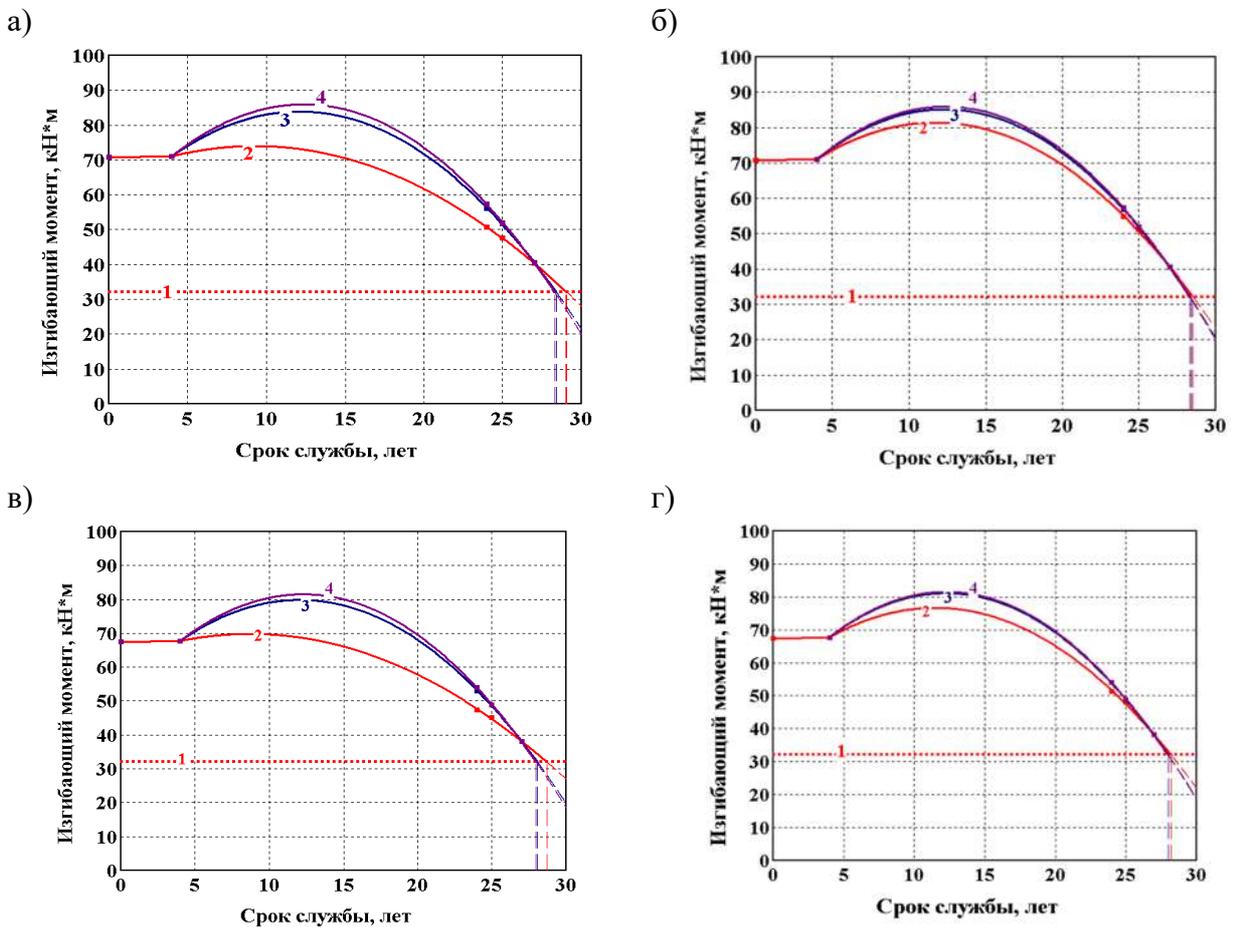


Рис. 7. Графики прогноза расчетного остаточного срока службы ребристых железобетонных плит покрытия по прочности нормальных сечений на действие изгибающего момента с учетом изменения прочности бетона во времени и коррозии арматуры по схемам равномерной (а, в) и неравномерной (б, г) коррозии, армированных 2 стержнями  $d$  25 мм (а, б) и 4 стержнями  $d$  18 мм (в, г):

- 1 – расчетный изгибающий момент от прогнозируемой нагрузки;  
 2 – несущая способность плит покрытия при скорости коррозии для слабоагрессивной среды 0,075 мм/год;  
 3, 4 – несущая способность плит с поврежденным и неповрежденным защитным слоем бетона, соответственно

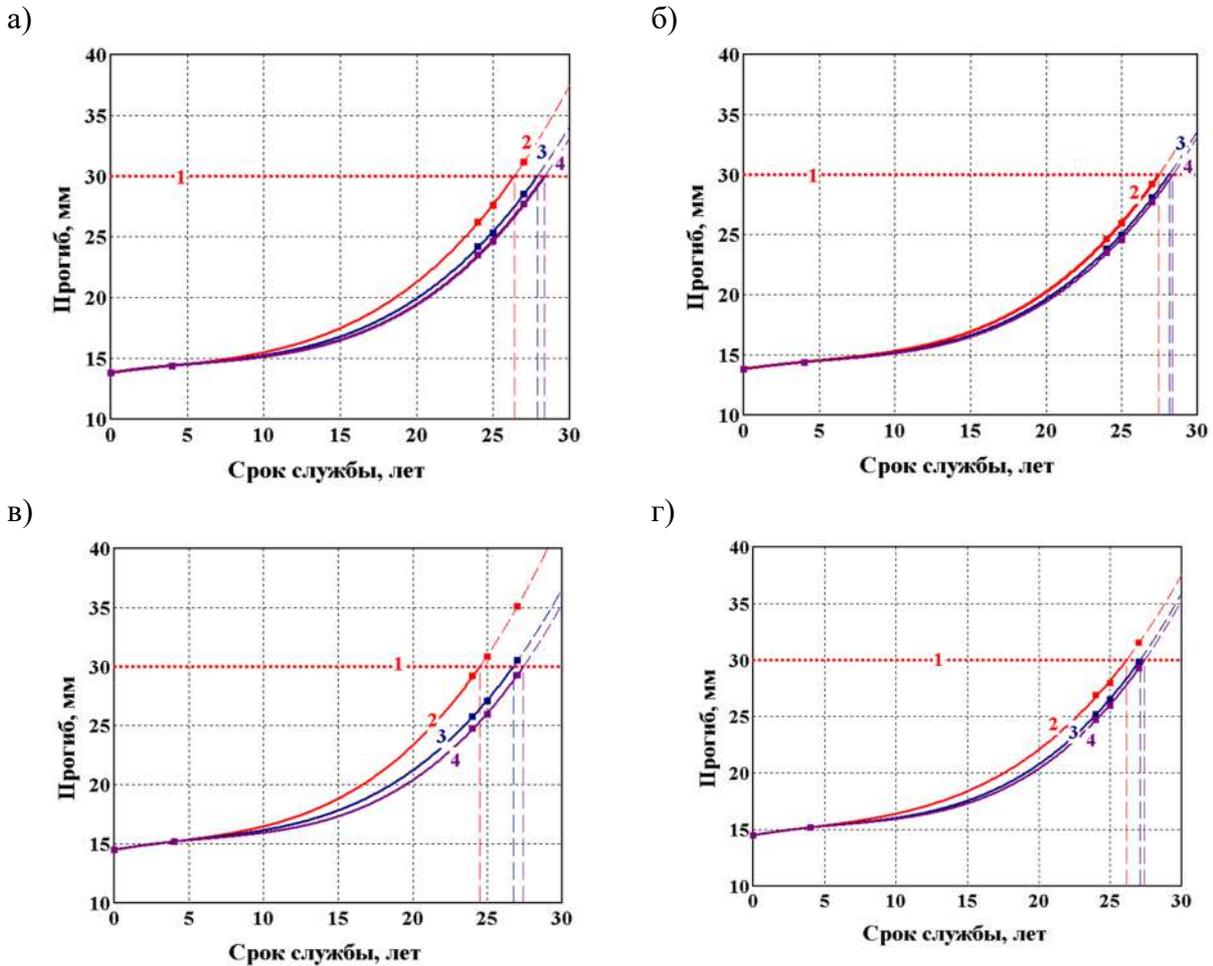


Рис. 8. Графики прогноза расчетного остаточного срока службы ребристых железобетонных плит покрытия по прогибам с учетом изменения прочности бетона во времени и коррозии арматуры по схемам равномерной (а, в) и неравномерной (б, г) коррозии, армированных 2 стержнями  $d$  25 мм (а, б) и 4 стержнями  $d$  18 мм (в, г): 1 – предельно допустимый прогиб; 2 – прогиб плит покрытия при скорости коррозии для слабоагрессивной среды 0,075 мм/год; 3, 4 – прогиб плит с поврежденным и неповрежденным защитным слоем бетона, соответственно

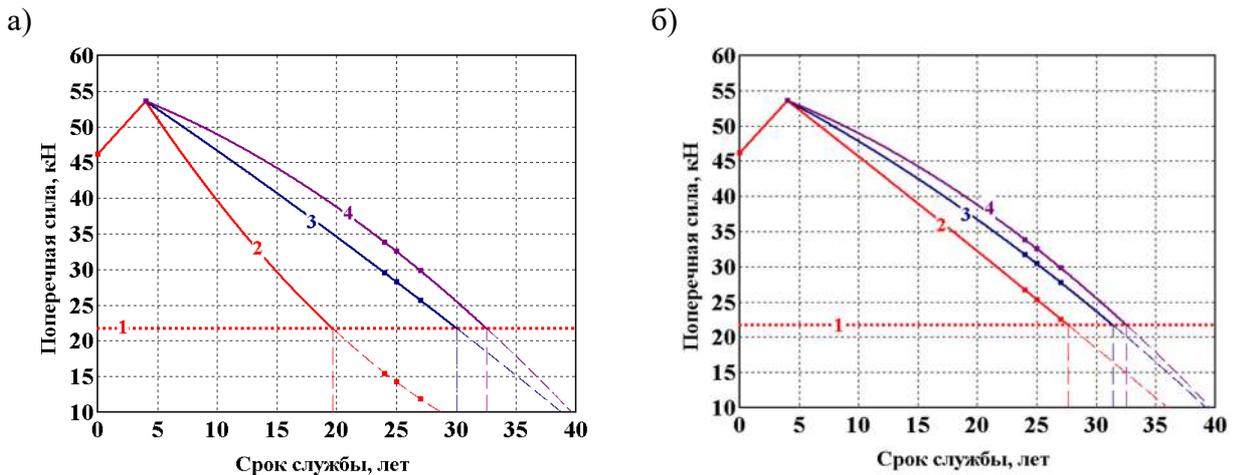


Рис. 9. Графики прогноза расчетного остаточного срока службы ребристых железобетонных плит покрытия по прочности наклонных сечений с учетом изменения прочности бетона и коррозии арматуры по схемам равномерной (а) и неравномерной (б) коррозии: 1 – расчетное значение поперечной силы от прогнозируемой нагрузки на плиты покрытия; 2 – несущая способность плит покрытия при скорости коррозии для слабоагрессивной среды 0,075 мм/год; 3, 4 – несущая способность плит с поврежденным и неповрежденным защитным слоем бетона, соответственно

Итоговые результаты прогноза представлены в виде таблицы.

Прогноз сроков службы плит покрытия

Контролируемые параметры	Прогнозные значения остаточных сроков службы для плит армированных, годы	
	4 стержнями d 18 мм	2 стержнями d 25 мм
По поперечной силе без учета изменения прочности бетона:		
✓ с равномерной коррозией арматуры	24/0	
✓ с неравномерной «серповидной» коррозией арматуры	38/14	
То же с учетом изменения прочности бетона во времени:		
✓ с равномерной коррозией	19/0	
✓ с неравномерной «серповидной» коррозией	28/4	
По изгибающему моменту без учета изменения прочности бетона во времени		
✓ с равномерной коррозией арматуры	43/19	57/33
✓ с неравномерной «серповидной» коррозией арматуры	81/56	108/84
По изгибающему моменту с учетом изменения прочности бетона во времени		
✓ с равномерной коррозией арматуры	27/3	28/4
✓ с неравномерной «серповидной» коррозией арматуры	27/3	28/4
По прогибам без учета изменения прочности бетона:		
✓ с равномерной коррозией арматуры	32/8	47/23
✓ с неравномерной «серповидной» коррозией арматуры	60/36	89/65
По прогибам с учетом изменения прочности бетона во времени		
✓ с равномерной коррозией арматуры	24/0	27/3
✓ с неравномерной «серповидной» коррозией арматуры	26/2	28/4

Примечание: в числителе приведены цифры полного прогнозируемого срока службы, а в знаменателе – остаточного прогнозируемого срока службы, в годах (с округлением в меньшую сторону)

Как видно из результатов прогнозирования, приведенных в таблице, для части плит в случае принятия равномерной модели коррозии арматуры остаточный срок службы по прогнозу равен нулю.

Минимальные прогнозируемые сроки службы, принятые из расчетов по несущей способности плит по изгибающему моменту, выполненных с учетом фактических изменений прочности бетона плит во времени, составляют 3...4 года.

Минимальные прогнозируемые сроки службы, принятые из расчетов по прогибам, выполненные с учетом фактических изменений прочности бетона плит во времени, составляют 2...4 года.

Остальные рассмотренные в таблице и на рис. 2...рис. 9 прогнозные модели дают остаточный срок службы железобетонных ребристых плит 8 и более лет. Фактический ресурс основной части плит по результатам проведенных научно-исследовательских работ, с учетом других прогнозных моделей, был продлен на 24 года, т.е. до 2030 года.

На основании выполненных результатов обследования и прогноза остаточных сроков службы в 2006 году были разработаны рекомендации по восстановлению самых поврежденных плит покрытия, находящихся в аварийном техническом состоянии, и восстановлению менее поврежденных плит, находящихся в ограниченно работоспособном со-

стоянии. Ремонтные работы были проведены в том же 2006 году. До настоящего времени плиты эксплуатируются без ремонта.

За прошедшие 20 лет после ремонта ни одна из 800 плит покрытия здания не потребовала проведения дополнительных ремонтно-восстановительных работ. Наибольшим повреждением отремонтированных плит покрытия к настоящему времени являются тонкие продольные трещины в бетоне восстановленного защитного слоя (шириной раскрытия до 1 мм), идущие в продольных несущих ребрах плит вдоль рабочей арматуры. Указанный факт свидетельствует о том, что на поверхности арматурных стержней вновь начался процесс коррозии, вызванный высокой влажностью воздуха и соединениями хлора, испаряющимися с поверхности воды ванны бассейна.

### **Заключение.**

По истечении 44 лет эксплуатации железобетонных ребристых плит покрытия исследуемого здания бассейна и 20 лет с момента выполнения прогноза можно констатировать, что разработанная и предлагаемая авторами комплексная методика прогнозирования остаточных сроков службы подтвердила свою состоятельность и может быть рекомендована к практическому использованию.

Опыт практического применения методики комплексного интегрального прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений, опубликованной ранее, показал достаточно высокую сходимость прогнозируемых результатов с фактическими сроками службы железобетонных конструкций, имеющих в том числе и значительные повреждения в виде сколов защитного слоя бетона, значительной коррозии стальной рабочей арматуры, а также зон анкеровки продольной рабочей арматуры в железобетонных конструкциях.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Батраков, В. П.** Механизмы деградации бетона под воздействием климата / В. П. Батраков // Научно-исследовательский центр «Technical Innovations». – 2023. – № 19. – С. 19-24.
2. Прогнозирование долговечности железобетонных изгибаемых элементов методом деградационных функций / В. П. Селяев, П. В. Селяев, Е. В. Сорокин, Е. Л. Кечуткина // Жилищное строительство. – 2014. – № 12. – С. 8-18.
3. **Карпенко, Н. И.** Модели поведения бетона. Общая теория деградации / Н. И. Карпенко // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2019. – № 2(39). – С. 146.
4. **Мандрица, Д. П.** Разработка моделей деградации материалов и конструкций в условиях проливов компонентов топлива / Д. П. Мандрица, А. Н. Миронов, Д. А. Авсюкевич // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 12. – С. 436-441.
5. **Варламов, А. А.** Модели материалов по теории деградации / А. А. Варламов, В. И. Теличенко, В. И. Римшин // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 4(382). – С. 59-65.
6. **Шмелев, Г. Д.** Учет деградации материалов при проведении поверочных расчетов строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков, М. С. Кононова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 1(32). – С. 20-29. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.32.1.002.
7. **Добромыслов, А. Н.** Диагностика повреждений зданий и сооружений: Справочное пособие / А. Н. Добромыслов. – Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 256 с.

8. **Мельчаков, А. П.** Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов. (Теория, методики и инженерные приложения) / А. П. Мельчаков. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2006. – 49 с.
9. **Самигуллин, Г. Х.** Определение остаточного ресурса производственных зданий и сооружений нефтеперерабатывающих предприятий / Г. Х. Самигуллин, М. М. Султанов // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2011. – № 2. – С. 167-175....
10. **Селяев, В. П.** Расчет долговечности железобетонных конструкций / В. П. Селяев // Вестник Мордовского университета. – 2008. – Т. 18. – № 4. – С. 140-149.
11. **Соснин, Н. П.** К вопросу об оценке остаточного ресурса зданий и сооружений / Н. П. Соснин // Вестник Пермского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2010. – № 1. – С. 59-62.
12. **Шматков, С. Б.** Расчет остаточного ресурса строительных конструкций зданий и сооружений / С. Б. Шматков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2007. – № 22 (94). – С. 56-57.
13. Анализ методики расчета сроков службы строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений / Г. Д. Шмелев, А. В. Жукова, Е. Э. Бурак, Э. В. Сазонов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 2(25). – С. 9-18.
14. **Шмелев, Г. Д.** Метод прогноза остаточного срока службы по вероятному снижению несущей способности эксплуатируемых строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков, Д. А. Драпалюк // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 2(21). – С. 9-18.
15. **Шмелев, Г. Д.** Комплексная инженерная методика прогнозирования остаточного срока службы железобетонных конструкций / Г. Д. Шмелев // Строительная физика в XXI веке: Материалы научно-технической конференции. Москва, НИИСФ РААСН. – 2006. – С. 582-585.
16. **Шмелев, Г. Д.** Экспертный метод прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по их физическому износу / Г. Д. Шмелев // Строительство и реконструкция. – 2014. – № 3. – С. 31-39.
17. **Шмелев, Г. Д.** Параметрические методы прогнозирования остаточных сроков службы железобетонных строительных конструкций. / Г. Д. Шмелев, И. В. Николайчев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2013. – № 7. – С. 167-175.
18. **Козлов, В. А.** Обоснование интервального метода прогнозирования и оценки остаточного ресурса строительных конструкций зданий и инженерных сооружений / В. А. Козлов, Г. Д. Шмелев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 4. – С. 11-18.
19. **Шмелев, Г. Д.** Методика оценки технического состояния, прогнозирования и обоснования остаточного срока службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, М. С. Кононова, Н. А. Малева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 2(9). – С. 34-42.
20. **Шмелев, Г. Д.** Расчет остаточного срока службы железобетонных конструкций шахты реактора типа – ВВЭР / Г. Д. Шмелев // Оценка риска и безопасность строительных конструкций. 1 межд. научно-практическая конференция. Сборник тезисов докладов. В 2-х т. Воронеж, Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. – 2006. – Т. 1. – С. 99-102.
21. **Шмелев, Г. Д.** Оценка остаточного срока службы круговой консоли полярного крана с использованием метода предельных состояний / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков, А. В. Жукова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2020. – № 3(14). – С. 9-16.

22. **Самохина, М. Н.** Особенности прогнозирования изменения прочностных показателей бетона в условиях ограниченной информации / М. Н. Самохина, А. Н. Ишков, Г. Д. Шмелев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 1(8). – С. 9-17.

23. **Сазонов, Э. В.** Практические аспекты использования параметрических методов оценки остаточного ресурса для плит покрытия / Э. В. Сазонов, Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 1(577). – С. 15-20.

Поступила в редакцию 7 февраля 2026

## THE RESULTS OF THE PRACTICAL APPLICATION OF THE METHODOLOGY FOR PREDICTING THE REMAINING SERVICE LIFE OF BUILDING STRUCTURES

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

---

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

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

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

---

This article describes the practical application of the methodology of complex integral forecasting of the remaining service life of building structures of operated buildings and structures developed by the authors' team. The methodology includes expert, parametric methods, as well as 'load-bearing capacity' and 'load-strain' methods. We present the results of a study assessing the actual load-bearing capacity and calculating the remaining service life of the swimming pool's roof structures. At the time of the survey, the building had been in operation for at least 24 years. The results of a visual inspection are presented, demonstrating significant corrosion damage to the working steel reinforcement of the reinforced concrete ribbed roof slabs, with partial or complete destruction of the concrete protective layer. Based on surveys using the author's methodology, we made some forecasts for changes in concrete strength, the depth of corrosion damage to the reinforcement, as well as the bearing capacity of the slabs (in terms of moment and shear force) and their deflections over time, taking into account the identified defects (damage). Models of continuous uniform and non-uniform 'sickle-shaped' corrosion were used to predict corrosion of the reinforcement. Repair measures were developed and implemented for damaged and compromised slabs. A comparison of the 2006 forecasts with the current condition of the floor slabs confirmed the validity of the original methodology.

**Keywords:** forecast of the remaining service life; concrete strength; reinforcement corrosion; bearing capacity; ribbed reinforced concrete slabs; deflections.

### REFERENCES

1. **Batrakov V. P.** *Mechanisms of concrete degradation under the influence of climate.* Scientific Research Center "Technical Innovations". 2023. No. 19. Pp. 19-24. (in Russian)

2. **Selyaev V. P., Sorokin E. V., Kechutkina E. L.** *Forecasting the durability of reinforced concrete bendable elements by the method of degradation functions.* Housing construction. 2014. No. 12. Pp. 8-18. (in Russian)

3. **Karpenko N. I.** *Models of concrete behavior. General theory of degradation.* Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University. 2019. No. 2(39). Pp. 146. (in Russian)
4. **Mandritsa, D. P. Mironov A. N., Avsyukevich D. A.** *Development of models of degradation of materials and structures in conditions of fuel component spills.* Proceedings of Tula State University. Technical sciences. 2022. No. 12. Pp. 436-441. (in Russian)
5. **Varlamov, A. A. Telichenko V. I., Rimshin V. I.** *Models of materials on the theory of degradation.* Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Technology of the textile industry. 2019. No. 4(382). Pp. 59-65. (in Russian)
6. **Shmelev G. D., Ishkov A. N., Kononova M. S.** *Accounting for the degradation of materials during verification calculations of building structures.* Housing and communal infrastructure. 2025. No. 1(32). Pp. 20-29. (in Russian)
7. **Dobromyslov A. N.** *Diagnostics of damage to buildings and structures: A reference manual.* Moscow, Publishing House of the Association of Construction Universities. 2006. 256 p. (in Russian)
8. **Melchakov A. P.** *Calculation and assessment of accident risk and safe resource of construction facilities. (Theory, methods and engineering applications).* Chelyabinsk. SUSU Publishing House. 2006. 49 p. (in Russian)
9. **Samigullin G. H., Sultanov M. M.** *Determination of the residual resource of industrial buildings and structures of oil refineries.* Electronic Scientific journal Oil and Gas engineering. 2011. No. 2. Pp. 167-175. (in Russian)
10. **Selyaev V. P.** *Calculation of durability of reinforced concrete structures.* Bulletin of the Mordovian University. 2008. Vol. 18. No. 4. Pp. 140-149. (in Russian)
11. **Sosnin N. P.** *On the issue of assessing the residual resource of buildings and structures.* Bulletin of the Perm State Technical University. Construction and architecture. 2010. No. 1. Pp. 59-62. (in Russian)
12. **Shmatkov S. B.** *Calculation of the residual resource of building structures of buildings and structures.* Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and Architecture. 2007. No. 22 (94). Pp. 56-57. (in Russian)
13. **Shmelev G. D., Zhukova A.V., Burak E. E., Sazonov E. V.** *Analysis of the methodology for calculating the service life of building structures of operated buildings and structures.* Housing and communal infrastructure. 2023. No. 2(25). Pp. 9-18. (in Russian)
14. **Shmelev G. D., Ishkov A. N., Drapalyuk D. A.** *Method of predicting the residual service life based on a probable decrease in the bearing capacity of operated building structures.* Housing and communal infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 9-18. (in Russian)
15. **Shmelev G. D.** *Complex engineering methodology for predicting the residual service life of reinforced concrete structures.* Construction physics in the XXI century: Proceedings of the scientific and technical conference. Moscow, NIISF RAASN. 2006. Pp. 582-585. (in Russian)
16. **Shmelev G. D.** *An expert method for predicting the remaining service life of building structures based on their physical wear.* Construction and Reconstruction. 2014. No. 3. Pp. 31-39. (in Russian)
17. **Shmelev G. D., Nikolaichev I. V.** *Parametric methods for predicting the remaining service life of reinforced concrete building structures.* Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Physico-chemical problems and high technologies of building materials science. 2013. No. 7. Pp. 167-175. (in Russian)
18. **Kozlov V. A., Shmelev G. D.** *Substantiation of the interval method of forecasting and estimating the residual resource of building structures of buildings and engineering structures.* Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture. 2013. No. 4. Pp. 11-18. (in Russian)

19. **Shmelev G. D., Kononova M. S., Maleva N. A.** *Methodology for assessing the technical condition, forecasting and substantiating the remaining service life of building structures.* Housing and communal infrastructure. 2019. No. 2(9). Pp. 34-42. (in Russian)
20. **Shmelev G. D.** *Calculation of the residual service life of reinforced concrete structures of a reactor shaft of the VVER type.* Risk assessment and safety of building structures. 1st international scientific and practical conference. Collection of abstracts. In 2 volumes. Voronezh, Voronezh. state architect. Univ. 2006. Vol. 1. Pp. 99-102. (in Russian)
21. **Shmelev G. D., Ishkov A. N., Zhukova A.V.** *Evaluation of the residual service life of a circular console of a polar crane using the limit state method.* Housing and communal infrastructure. 2020. No. 3(14). Pp. 9-16. (in Russian)
22. **Samokhina M. N., Ishkov A. N., Shmelev G. D.** *Features of forecasting changes in concrete strength parameters in conditions of limited information.* Housing and communal infrastructure. 2019. No. 1(8). Pp. 9-17. (in Russian)
23. **Sazonov E. V., Shmelev G. D., Ishkov A. N.** *Practical aspects of using parametric methods for estimating the residual resource for coating plates.* Newsletter of higher educational institutions. Construction. 2007. No. 1(577). Pp. 15-20. (in Russian)

*Received 7 February 2026*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Шмелев, Г. Д.** Результаты практического применения методики прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков, И. Ш. Алирзаев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 1(36). – С. 9-21. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.001.

**FOR CITATION:**

**Shmelev G. D., Ishkov A. N., Alirzaev I. S.** *The results of the practical application of the methodology for predicting the remaining service life of building structures.* Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 1(36). Pp. 9-21. DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.001. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.002

УДК 692.53

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО УСТРОЙСТВУ ПОКРЫТИЙ ПОЛОВ И ПЛОЩАДОК В СПОРТИВНЫХ ЗОНАХ

**Т. Ф. Чердниченко, В. И. Николаева**

Чердниченко Татьяна Федотовна, канд. техн. наук, доц. кафедры технологий строительного производства, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(937)743-31-32; e-mail: tati\_cher@mail.ru

Николаева Вероника Игоревна, магистрант кафедры технологий строительного производства, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(937)743-31-32; e-mail: 79377433132@yandex.ru

Увеличение объёма отходов резинотехнических изделий, прежде всего отработанных шин, обуславливает необходимость поиска технологических решений, направленных на их вовлечение во вторичный оборот и снижение экологической нагрузки. В отечественной практике отходы шин длительное время не находили широкого практического применения, при этом основным направлением их переработки является получение резиновой крошки. Сочетание переработанной резины с эпоксидными системами открывает возможность формирования более гибких и долговечных напольных конструкций. В статье представлены результаты анализа современных подходов к использованию переработанной резины и показано, как изменения в структуре композита влияют на амортизационные и эксплуатационные свойства спортивных полов. Полученные данные подтверждают потенциал данного подхода и указывают на перспективы развития ресурсосберегающих технологий в строительстве спортивной инфраструктуры.

**Ключевые слова:** переработка шин; спортивные покрытия; композитные системы; амортизация; демпфирование; коэффициент трения; износостойкость; экологическая безопасность; вторичное сырьё; динамические нагрузки; эксплуатационные свойства; срок службы.

Рост автомобильного парка приводит к устойчивому увеличению объёма шинных отходов. Химическая и механическая стойкость материала делает его трудноразрушаемым, что формирует долговременное воздействие на природную среду. Ежегодно в России образуется около миллиона тонн резины, при этом большая часть продолжает поступать на полигоны и сохраняется там десятилетиями, создавая техногенные загрязнения почвы и грунтовых вод. Сжигание шин без глубокой системы газоочистки сопровождается выбросами токсичных соединений, что исключает возможность его широкого применения [1].

Наиболее технологичным направлением становится переработка шин в резиновую крошку, которая сохраняет амортизационные и эксплуатационные свойства исходного материала. Одной из устойчивых сфер применения крошки является устройство спортивных напольных покрытий. Материал обеспечивает амортизацию, распределение нагрузок, стойкость к истиранию и температурной стабильности. Однако уровень переработки шин в России остается ниже потенциальных возможностей отрасли [2, 3].

Анализ распределения способов обращения с отходами показывает, сохраняющееся преобладание традиционных методов утилизации и недостаточный объём механической переработки (рис. 1).

В зарубежной практике вторичная резина активно используется в строительстве полимерных композитных покрытий [1]. Применяются многослойные системы с регулируемыми свойствами.

мыми механическими свойствами, покрытия с амортизирующими подслоями, а также смеси, в которых резиновые частицы соединяются с эпоксидными или полиуретановыми связующими.

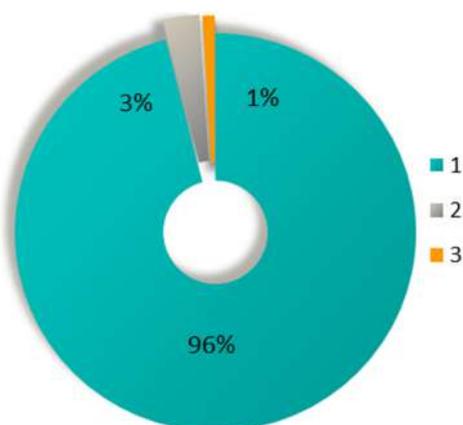


Рис. 1. Статистические данные по утилизации шин в России:  
1 – захоронение на полигонах; 2 – переработка шин в крошку; 3 – восстановление протектора

Интерес к применению резиновой крошки в спортивных покрытиях сопровождается обсуждением возможных экологических рисков, связанных с поведением материала в процессе длительной эксплуатации и его взаимодействием с окружающей средой. Наряду с этим сохраняется проблема несоответствия между потенциальными возможностями вторичной резины и реальным уровнем её применения в спортивном строительстве [2]. Несмотря на наличие эксплуатационных и экономических преимуществ, внедрение таких материалов сдерживается недостаточной информированностью участников строительной отрасли о современных технологических схемах устройства композитных покрытий, включающих подготовку основания, формирование амортизирующего слоя и защитного финишного покрытия. Дополнительными ограничивающими факторами остаются сомнения в экологической безопасности и ограниченное распространение композитных систем в практике проектирования и строительства спортивных объектов [4].

В ряде исследований представлен систематизированный обзор технологий переработки изношенных шин, направленных на получение резиновой крошки и модифицированных эластомерных материалов пригодных для дальнейшего использования в строительных композициях, включая спортивные покрытия [5...8]. Рассматриваемые подходы позволяют формировать вторичное сырьё с различными физико-механическими характеристиками, что определяет область его рационального применения.

Наиболее распространёнными являются механические методы переработки сырья, основанные на измельчении шин с получением фракционированной резиновой крошки. Такие технологии характеризуются относительной простотой, технологической надёжностью и минимальным использованием химических реагентов, что делает их экологически предпочтительными при организации замкнутых циклов обращения отходов. Получаемое сырьё отличается стабильностью свойств и может эффективно применяться в составе композиционных покрытий, где требуется прогнозируемое поведение материала под эксплуатационными нагрузками. Наряду с этим используются технологии, направленные на изменение структуры поверхности частиц вторичной резины, что способствует улучшению её взаимодействия с полимерными связующими. Подобные подходы позволяют расширить функциональные возможности композиционных материалов и повысить их эксплуатационную надёжность при использовании в покрытиях с регламентированными амортизационными характеристиками.

Отдельное внимание в исследованиях уделяется экологическим аспектам переработки эластомерных отходов. Выбор технологии переработки шин определяется не только

качеством получаемого материала, но и уровнем энергозатрат, объемом вторичных выбросов и возможностью минимизации негативного воздействия на окружающую среду. В этом контексте переработка шин с последующим применением резиновой крошки в строительстве спортивной инфраструктуры рассматривается как перспективное направление ресурсосберегающих и экологически ориентированных решений.

В научной статье [6] отмечается, что в процессе старения материалов на основе резиновой крошки, применяемых в составе спортивных покрытий, в окружающую среду могут поступать отдельные органические соединения, включая пластификаторы и продукты распада полимерных компонентов. Результаты исследования позволяют оценить поведение материала при продолжительных нагрузках и различных температурных режимах характерных для спортивных покрытий. Авторы статьи делают вывод, что длительная эксплуатация покрытий с добавлением резиновой крошки сопровождается изменением свойств его поверхности из-за деградации материала под воздействием внешних воздействий. Однако при этом подчёркивается, что уровни выбросов химических соединений в стандартных условиях эксплуатации напольных покрытий остаются низкими и не превышают фоновых значений.

В работе [7] рассматриваются ключевые вопросы утилизации изношенных автомобильных шин и технологические подходы к их переработке с получением резиновой крошки, как вторичного сырья. Авторы анализируют основные методы механической переработки и отмечают экологические и практические аспекты обращения с покрышками, которые долгое время складировались на контейнерных площадках или сжигались, создавая длительное загрязнение окружающей среды, повышенный риск возникновения пожаров и распространения вредителей. Получаемая крошка рассматривается как потенциальный компонент для дальнейшего применения в различных отраслях, включая строительные материалы, что способствует снижению объемов отходов и расширению использования вторичного сырья.

В результате анализа проблемы экологического загрязнения и влияния материалов на основе составляющих из отработанной резины, включая резиновую крошку, на здоровье человека можно говорить о безопасности резиновой крошки при условии соблюдения технологии переработки и правильной эксплуатации спортивных покрытий.

Экономический аспект также ограничивает применение покрытий, выполненных исключительно из резиновой крошки. Недостаточная жёсткость таких материалов приводит к ускоренному износу поверхности покрытия, росту затрат на обслуживание и сокращению срока его службы. В обзоре [8] показано, что использование резиновой крошки в строительных материалах без формирования жёсткой матрицы сопровождается ухудшением механических характеристик, тогда как более стабильные эксплуатационные показатели достигаются в композитных системах с полимерным связующим.

Таким образом, переход к комбинированным решениям, в которых упругий компонент объединяется с полимерной матрицей, является одной из актуальных проблем. В одном из недавних исследований [9] рассматривались напольные покрытия, которые в наибольшей степени отвечают эксплуатационным и нормативным требованиям, в том числе применяемые для полов волейбольных площадок. В рамках анализа были изучены эксплуатационные свойства эпоксидных покрытий, по результатам которого установлено, что упругость данного вида покрытий недостаточна для их применения в чистом виде на спортивных площадках. Недостаточная амортизация увеличивает нагрузку на суставы спортсменов и снижает комфорт при динамической работе. В спортивных залах это становится критичным, поскольку интенсивные прыжки и резкие перемещения усиливают ударные нагрузки на опорно-двигательный аппарат. Повышение упругости эпоксидных систем рассматривается как ключевой путь адаптации материала к спортивным требованиям.

Работы [10...15] демонстрируют возможности модификации эпоксидных покрытий для изменения механических свойств материала.

В исследовании Sidhu S.S. [10] установлено, что добавление дисперсных компонентов повышает коэффициент трения без уменьшения прочности. Автор Sami A. [11] предлагает использовать алюминиевую стружку, которая повышает стойкость к истиранию спортивного покрытия и формирует микропористую структуру с частичным поглощением ударных нагрузок. Аналогичные результаты получены при применении медной стружки [12], где рост шероховатости поверхности усиливает сцепление и уменьшает хрупкость покрытия волейбольных площадок. Blanco M. [13] рассматривает введение наночастиц  $TiO_2$  и  $SiO_2$ , которые формируют структурированный рельеф и повышают сцепление покрытия с подошвой обуви в условиях повышенной влажности полов. В работе Chaudhari A. G. [14] выявлено, что оптимальный баланс прочности и амортизации достигается при использовании эпоксидной смолы с наполнителем на основе резиновой крошки, обеспечивающим прирост демпфирования до 20...25 %.

Данные вышеперечисленных исследований объединены в табл. 1, где отражены ключевые параметры модифицированных эпоксидных систем для игровых спортивных площадок.

Таблица 1

Сводная таблица основных характеристик комбинированных покрытий на основе эпоксидной смолы и резиновой крошки в спортивных сооружениях по результатам проведенных испытаний [11, 13, 14]

Тип добавки	Коэффициент трения	Амортизация (%)	Износостойкость (г/см <sup>2</sup> )
Минеральные добавки	0,45	10	0,1
Алюминиевые стружки	0,5	18	0,08
Медь как модификатор	0,55	15	0,07
Частицы $TiO_2/SiO_2$	0,6	12	0,06
Резиновая крошка	0,5	25	0,09
Биополимеры, пластификаторы	0,4	22	0,12

Примечание: таблица разработана авторами статьи по результатам анализа исследований [11, 13, 14].

Полученные результаты подтверждают перспективность применения комбинированных покрытий на основе эпоксидной смолы и резиновой крошки в спортивных сооружениях. Материал обеспечивает рост амортизационных свойств без снижения прочности, что дает возможность сформировать покрытие, сочетающее упругость и износостойкость.

С учётом выявленных изменений механических и эксплуатационных свойств напольных покрытий на основе эпоксидных композитов авторами статьи предлагается в качестве альтернативы распространённым решениям, основанным на применении только резиновой крошки или эпоксидных покрытий без эластичных добавок, использовать эпоксидный состав с эластичным наполнителем. Введение частиц резиновой крошки диаметром 0,5...2 мм формирует пористую матрицу, способную перераспределять локальные ударные нагрузки. Демпфирование достигает 25...30 %, коэффициент трения остаётся в диапазоне 0,45...0,55 [10], что соответствует требованиям СП 31.13330.2012 и ГОСТ Р 55677–2013. Комбинация резиновой крошки с финишным эпоксидным слоем толщиной до 2 мм обеспечивает формирование бесшовной защитной поверхности с высокой стойкостью к истиранию и воздействию влаги.

Применение отечественного вторичного сырья позволяет исключить использование дорогостоящих импортных материалов, а также отсутствие потребности в сложном и дорогостоящем технологическом оборудовании для изготовления покрытия снижает себестоимость квадратного метра. Рассматриваемая технология соответствует положениям СП 29.13330.2011 по прочности, сцеплению и безопасности. В нормативных требованиях к

спортивным напольным покрытиям указываются значения истираемости до 0,12 г/см<sup>2</sup>, водопоглощения менее 1,5 % и сопротивления скольжению в диапазоне 0,5...0,55. Резиновая крошка, полученная из переработанных отходов, обеспечивает дополнительный экологический эффект за счёт сокращения объёмов утилизируемых шин и вовлечения вторичных ресурсов в строительный оборот.

Композитные эпоксидные покрытия с наполнителем в виде резиновой крошки демонстрируют сочетание амортизационных свойств, влагостойкости и долговечности, что делает данную технологию обоснованной для применения в спортивных залах, включая волейбольные площадки. Формирование структуры покрытия за счёт объединения упругого компонента и полимерной матрицы позволяет адаптировать материал к динамическим нагрузкам, характерным для игровых видов спорта.

Рассматриваемое решение обеспечивает высокий уровень комфорта спортсменов и расширяет архитектурно-дизайнерские возможности за счёт применения декоративных текстур при сохранении эксплуатационной надёжности покрытия. Перспективность внедрения композитных эпоксидных систем на волейбольных площадках позволяет достигать нормативных показателей без привлечения дорогостоящих импортных полиуретановых и многослойных спортивных покрытий, обеспечивая повышение безопасности и комфорта спортсменов при рациональном расходовании бюджетных средств. Дополнительным преимуществом является возможность реализации различных цветовых, фактурных и декоративных решений поверхности покрытия без существенного увеличения стоимости.

В связи с изложенным представляется целесообразным рассмотреть устройство композитных эпоксидных напольных покрытий с амортизирующим слоем из резиновой крошки, реализуемых посредством многоступенчатой технологической схемы. Такие решения могут выполняться как в виде самостоятельных эпоксидных покрытий, так и в составе систем с использованием резиновой крошки в качестве добавки в бетонные или растворные основания, что обеспечивает гибкость применения технологии в зависимости от конструктивных и эксплуатационных условий объекта.

Реализуемость указанных технологических решений подтверждается наличием действующей нормативной и методической базы. В частности, положения по подготовке бетонных оснований, укладке наливных смесей и требованиям к устройству бесшовных полимерных покрытий изложены в МДС 31-9.2003 «Технологические карты на устройство полов в общественных и производственных зданиях», МДС 81-1.99 (раздел «Покрытия полимерные»), а также в технологической карте ТК 142/03-ТК «Устройство бесшовных полимерных покрытий полов».

В рамках исследования рассматривается технологический процесс устройства композитного эпоксидного напольного покрытия с амортизирующим слоем из резиновой крошки, ориентированный на применение в спортивных залах. Технологический процесс начинается с комплексной подготовки бетонного основания, включающей механическую очистку поверхности методом дробеструйной обработки или шлифовки с целью удаления цементного молочка и раскрытия пор, обеспечивающих адгезию. Бетонное основание подвергается механической очистке методом дробеструйной обработки или шлифовки с целью удаления цементного молочка и раскрытия пор, обеспечивающих его адгезию с компонентами покрытия. Допустимая остаточная влажность составляет не более 4 %, что соответствует требованиям СП 29.13330.2011. После очистки производится обеспыливание промышленным пылесосом. Поверхность проверяется на прочность отрывом (не менее 1,5 МПа), при необходимости проводится локальный ремонт трещин, выбоин и швов ремонтными составами на эпоксидной основе.

Затем наносится грунтовочный адгезионный состав, как правило, двухкомпонентный эпоксидный праймер, с расходом около 300 г/м<sup>2</sup> в зависимости от степени пористости основания. На стадии грунтования часто проводится посыпка кварцевым песком для уве-

личения сцепления с амортизирующим слоем, что рекомендуется в ряде ТК (например, ТК-28/06-01).

Следующим этапом является укладка амортизирующего слоя, выполняемого из смеси эпоксидной смолы и резиновой крошки (фракция 0,5...2 мм). Расход компонентов составляет порядка 1:3 по массе, где одна часть приходится на эпоксидную смолу и три части на резиновую крошку, что обеспечивает оптимальный баланс между упругостью и прочностью покрытия. Готовая смесь наносится вручную с помощью раклей или зубчатых шпателей толщиной 6...8 мм.

После отверждения амортизирующего слоя в течение 24 часов при температуре +20 °С проводится шлифовка и его обеспыливание, устраняются дефекты и наплывы, обеспечивается ровная и подготовленная поверхность для нанесения финишного слоя покрытия. Верхнее покрытие, как правило, представляет собой двухкомпонентную эпоксидную эмаль либо наливной тонкослойный состав толщиной до 2 мм. Нанесение осуществляется валиком или шпателем, возможно добавление антискользящих добавок (корунд, кварц). Полная полимеризация финишного слоя наступает через 5...7 суток и пол может вводиться в эксплуатацию.

С целью оценки и обоснования данного решения проведен расчет на основе норм ГЭСН 11-01-031 и ТЕР 11-01-031. Дополнительно использованы позиции ЕНиР 11-2-4 и прейскурантные данные на материалы российского производства. В табл. 2 представлены результаты расчета сметной стоимости устройства одного квадратного метра покрытия, составленная с указанием нормативных источников.

Таблица 2

Расчет стоимости устройства одного квадратного метра комбинированного эпоксидного покрытия с армирующим слоем из резиновой крошки

Этап	Ед. изм.	Кол-во	Цена за ед., Р	Сумма, Р	Обоснование
Эпоксидная смола (базовая)	кг	1.2	620	744	Прейскурант «Технопол», 2024
Резиновая крошка	кг	3.6	35	126	ТЕР 11-01-031-03
Эпоксидный праймер	кг	0.3	400	120	ГЭСН 11-01-031-01
Финишный слой (эмаль/наливной)	кг	0.7	580	406	ГЭСН 11-01-031-02
Кварцевый песок для антислипа	кг	0.2	18	4	ТЕР 11-01-031-06
Расходники, инструмент, износ оборудования	м <sup>2</sup>	1	-	80	ЕНиР 11-2-4 (затраты труда)
Заработная плата рабочих	м <sup>2</sup>	1	-	220	ГЭСН 11-01-031 (расчет по норме)
<b>ИТОГО</b>				<b>1700</b>	

Итоговая стоимость устройства, без учета НДС, одного квадратного метра покрытия составляет порядка 1700 рублей, что сопоставимо с аналогичными полиуретановыми системами, но при этом данная технология обеспечивает повышенный уровень амортизации, соответствующий требованиям СП 29.13330.2011 и ГОСТ Р 55677–2013. А также, использование отечественного сырья и стандартного строительного инструмента дополнительно снижает издержки на устройства такого покрытия.

В связи с этим, предлагаемый метод устройства покрытий полов может рассматриваться как экономически обоснованное решение для применения в спортивных объектах, особенно в залах для волейбола, мини-футбола, баскетбола, а также в школьных спортивных помещениях. Срок службы комбинированного покрытия до 20 лет без капитального ремонта, уход простой, регулярная полировка не требуется. При этом покрытие сохраняет равномерную поверхность без швов, не боится падений снарядов, пота, влаги или случайных загрязнений.

По результату анализа нормативно-технической литературы подготовлен сравнительный прогноз срока службы стандартных покрытий и предлагаемого покрытия (табл. 3).

Таблица 3

Сравнительный прогноз эксплуатации покрытий из выбранных в рамках исследования материалов, для волейбольных площадок

Показатель	Эпоксидное с крошкой	Деревянное	Бетонное	ПВХ
Срок службы	18...20 лет	10...12 лет	12...14 лет	8...10 лет
Уход	Влажная уборка, легкая полировка раз в 2 года	Влажная уборка с ограничением, полировка и лакировка ежегодно	Частая обеспыливание, пропитка, герметизация швов	Уборка простая, но возможна деформация при влажности
Ремонтопригодность	Частичный финишный слой 0,5 мм	Частичная замена досок + шлифовка	Шпатлевка трещин, повторная пропитка	Практически невозможен, часто полная замена
Амортизация	Есть (резиновая подложка)	Есть (через лаги/эластомеры)	Отсутствует	Частично (при наличии подложки)
Реакция на влагу	Не боится, бесшовное	Боится влаги, возможны вздутия	Пыление, разрушение	Вздутия при нарушении герметичности
Стоимость 1 м <sup>2</sup>	~1700 Р	~2200...2500 Р	~1000 Р	~1600...1900 Р

На графике (рис. 2) представлена сравнительная оценка динамики снижения эксплуатационных характеристик четырех типов покрытий, применяемых в спортивных залах, в условиях интенсивной физической активности. За базу расчетов приняты усредненные значения сроков службы и темпов износа напольных покрытий, собранные из нормативных документов (СП 29.13330.2011, МДС 31-9.2003, ТК 214/11-ТК), технических паспортов производителей и обобщенных данных эксплуатации покрытий типовых школьных и специализированных спортивных объектов.

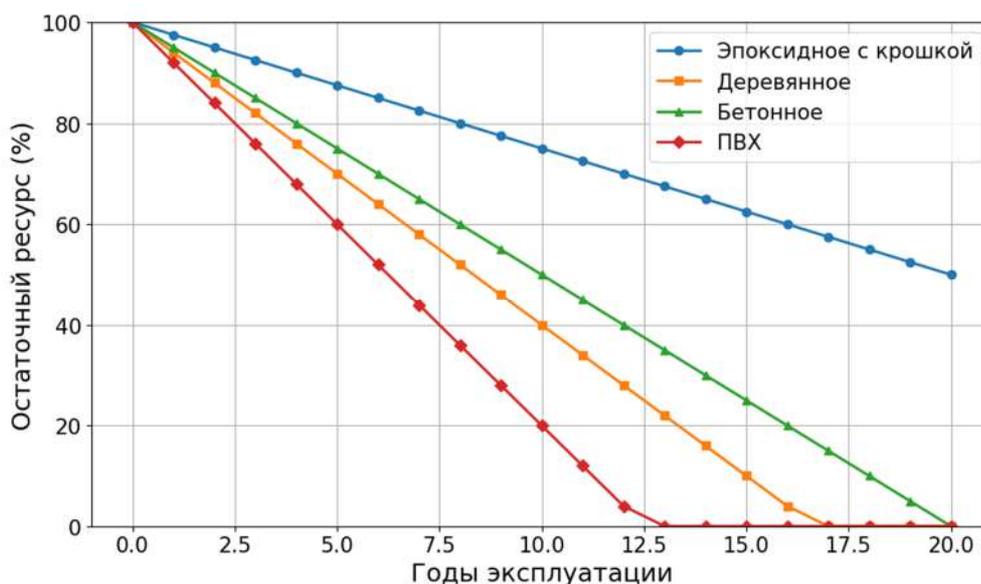


Рис. 2. Прогнозирование изменения эксплуатационного ресурса напольных покрытий при интенсивной спортивной нагрузке

Таким образом, переработанная резиновая крошка может безопасно применяться в спортивных покрытиях при соблюдении технологических требований. В нашей стране потенциал материала долгое время оставался нереализованным: большую часть шин утили-

зировали захоронением или сжиганием, что сдерживало развитие современных композитных систем.

### **Заключение.**

Анализ показал, что покрытия, выполненные исключительно на основе резиновой крошки без полимерного связующего, не вполне соответствуют требованиям спортивных залов по износостойкости и ресурсу службы. Комбинация эпоксидной матрицы и резиновой крошки формирует амортизирующую структуру с демпфированием до 30 % при сохранении нормативных значений коэффициента трения. Поверхность сохраняет стойкость к воздействию влаги и истиранию, а также допускает возможность локального восстановления.

Экономическая оценка подтверждает целесообразность внедрения композитного эпоксидного покрытия с наполнителем в виде резиновой крошки. Себестоимость квадратного метра такого покрытия сопоставима или ниже по сравнению с альтернативными решениями, применяемыми для волейбольных площадок, при этом расчётный срок службы достигает 18–20 лет при минимальных затратах на техническое обслуживание.

Сравнительный прогноз эксплуатации напольных покрытий, выполненный для волейбольной площадки, показал преимущество композитного эпоксидного покрытия с резиновой крошкой по совокупности показателей долговечности, ремонтпригодности, влагостойкости и амортизационных свойств перед деревянными, бетонными и ПВХ покрытиями. Реализация данного подхода позволяет одновременно повысить эксплуатационную надёжность спортивных залов и сократить объёмы шинных отходов за счёт вовлечения их в качестве вторичного сырья.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Life cycle assessment of vehicle tires: A systematic review / Y. Dong, Y. Zhao, Md. U. Hossain, Y. He, P. Liu // *Cleaner Environmental Systems*. – 2021. – Vol. 2. – Art. 100033. – DOI: 10.1016/j.cesys.2021.100033.
2. **Гусев, А. Д.** Шаг к совершенствованию системы сбора и дальнейшего использования автошин / А. Д. Гусев, В. С. Демьянова // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. – 2019. – № 4-2. – С. 181-185.
3. **Вершинина, И. А.** Проблемы утилизации отходов и социально-экологическое неравенство / И. А. Вершинина, Т. С. Мартыненко // *Экология и промышленность России*. – 2019. – Т. 23. – № 5. – С. 52-55.
4. Crumb Rubber as a Secondary Raw Material from Waste Rubber: A Short Review of End-of-Life Mechanical Processing Methods / V. Lapkovskis, V. Mironovs, A. Kasperovich, V. Myadelets, D. Golyandin // *Recycling*. – 2020. – Vol. 5. – Issue 4. – Pp. 32. – DOI: 10.3390/recycling5040032.
5. Granulated rubber in playgrounds and sports fields: a potential source of atmospheric plastic-related contaminants / K. Savva, M. Llorca, X. Borrell, O. Bertran-Solà, M. Farré, T. Moreno // *Supplementary materials*. 2024. No 5:479:135697. doi:10.1016/j.jhazmat.2024.135697.
6. U.S. Environmental Protection Agency. Federal Research Action Plan on Recycled Tire Crumb Rubber Used on Synthetic Turf Fields and Playgrounds. / K. Benson, E. Irvin-Barnwell, A. Ragin-Wilson, P. Breysse // *Final Report. Part 1 – Tire Crumb Characterization*. – Washington, 2019.
7. **Невядомская, А. И.** Утилизация и переработка шин в крошку / А. И. Невядомская, А. А. Дериглазов // *Молодой ученый*. – 2014. – № 17. – С. 310-313.

8. **Thomas, B. S.** A comprehensive review on the applications of waste tire rubber in cement concrete / B. S. Thomas, R. C. Gupta // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2016. – Vol. 54. – Pp. 1323-1333. – DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.092.
9. Effect of Floor Coatings on Slip-Resistance of Safety Shoes / S. S. Sidhu, S. Chatterjee, R. Kumar, N. Tiwari // *Coatings*. – 2022. – Vol. 12(10). – Art. 1619.
10. Enhancing Safety and Slip Resistance of Epoxy Flooring Materials through the Reuse of Aluminum Machining Chips / A. Sami, S. E. Elmarud, K. Al-Harthy, A. Al-Salmi // *Journal of King Abdulaziz University – Engineering Sciences*. – 2024. – Vol. 34(1). – Pp. 27-36.
11. **El-Abd, A. H.** Enhancing the Safety of Epoxy Floor Materials by Using Copper Chip / A. H. El-Abd, A. M. Samy // *Journal of the Egyptian Society of Tribology*. – 2022. – Vol. 19(2). – Pp. 125-134.
12. Slip-resistance improvement on paints employed on walking surfaces by the incorporation of nanoparticles / M. Blanco, C. Monteserín, M. Menéndez, A. García // *Progress in Organic Coatings*. – 2020. – Vol. 148. – Art. 105852.
13. Experimental Investigation of Use of Epoxy Resin in Floor Topping / A. G. Chaudhari, U. Sharma, M. Kulkarni, P. Mishra // *International Journal of Advance Research in Engineering and Innovative Ideas in Education (IJARIEE)*. – 2022. – Vol. 8(3). – Pp. 379-387.
14. Fully Recyclable Bio-Based Epoxy Formulations Using Epoxidized Precursors from Waste Flour: Thermal and Mechanical Characterization / F. Ferrari, C. Esposito Corcione, R. Striani, M. Frigione // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13(16). – Art. 2768.

*Поступила в редакцию 19 декабря 2025*

## IMPROVEMENT OF FLOORING INSTALLATION METHODS IN SPORTS FACILITIES USING RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES

**T. F. Cherednichenko, V. I. Nikolaeva**

---

Tatyana F. Cherednichenko, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor at the Department of Construction Production Technologies, Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd, tel.: +7(937)743-31-32; e-mail: [tati\\_cher@mail.ru](mailto:tati_cher@mail.ru)

Veronika I. Nikolaeva, Master's student, Department of Construction Production Technologies, Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd, tel.: +7(937)743-31-32; e-mail: [79377433132@yandex.ru](mailto:79377433132@yandex.ru)

---

The increasing volume of rubber waste, primarily end-of-life tires, necessitates the development of technological solutions aimed at their integration into secondary material cycles and the reduction of environmental impact. In domestic practice, rubber crumb has long remained underutilized, the primary processing method is rubber crumb. Combining recycled rubber with epoxy systems opens up the possibility of creating more flexible and durable flooring structures. This paper presents the results of an analysis of modern approaches to the use of recycled rubber and demonstrates how changes in the composite structure affect the cushioning and performance properties of sports flooring. The obtained data confirm the potential of the proposed technology and indicate promising directions for the development of resource-efficient solutions in the construction of sports infrastructure.

**Keywords:** tire recycling; sports flooring; composite systems; cushioning; damping; coefficient of friction; wear resistance; environmental safety; secondary raw materials; dynamic loads; performance properties; service life.

### REFERENCES

1. **Dong Y., Zhao Y., Hossain Md. U., He Y., Liu P.** *Life cycle assessment of vehicle tires: A systematic review*. *Cleaner Environmental Systems*. 2021. Vol. 2. Art. 100033. DOI: 10.1016/j.cesys.2021.100033.

2. **Gusev A. D., Dem'yanova V. S.** *Shag k sovershenstvovaniyu sistemy sbora i dal'neyshego ispol'zovaniya avtoshin.* Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava. 2019. No. 4-2. Pp. 181-185. (in Russian)
3. **Vershinina I. A., Martynenko T. S.** *Problemy utilizatsii otkhodov i sotsial'no-ekologicheskoe neravenstvo.* Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2019. Vol. 23. No. 5. Pp. 52-55. (in Russian)
4. **Lapkovskis V., Mironovs V., Kasperovich A., Myadelets V., Golyandin D.** *Crumb Rubber as a Secondary Raw Material from Waste Rubber: A Short Review of End-of-Life Mechanical Processing Methods.* Recycling. 2020. Vol. 5. Issue 4. P. 32. DOI: 10.3390/recycling5040032.
5. **Savva K., Llorca M., Borrell X., Bertran-Solà O., Farré M., Moreno T.** *Granulated rubber in playgrounds and sports fields: a potential source of atmospheric plastic-related contaminants.* Supplementary Materials.
6. **Benson K., Irvin-Barnwell E., Ragin-Wilson A., Breyse P.** *U.S. U.S. Environmental Protection Agency. Federal Research Action Plan on Recycled Tire Crumb Rubber Used on Synthetic Turf Fields and Playgrounds.* Final Report. Part 1. Tire Crumb Characterization. Washington. 2019.
7. **Neviadomskaya A. I., Deriglazov A. A.** *Utilizatsiya i pererabotka shin v kroschku.* Molodoy uchenyy. 2014. No. 17. Pp. 310-313. (in Russian)
8. **Thomas B. S., Gupta R. C.** *A comprehensive review on the applications of waste tire rubber in cement concrete.* Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 54. Pp. 1323-1333. DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.092.
9. **Sidhu S. S., Chatterjee S., Kumar R., Tiwari N.** *Effect of Floor Coatings on Slip-Resistance of Safety Shoes.* Coatings. 2022. Vol. 12(10). Article 1619.
10. **Sami A., Elmarud S. E., Al-Harthy K., Al-Salmi A.** *Enhancing Safety and Slip Resistance of Epoxy Flooring Materials through the Reuse of Aluminum Machining Chips.* Journal of King Abdulaziz University - Engineering Sciences. 2024. Vol. 34(1). Pp. 27-36.
11. **El-Abd A. H., Samy A. M.** *Enhancing the Safety of Epoxy Floor Materials by Using Copper Chip.* Journal of the Egyptian Society of Tribology. 2022. Vol. 19(2). Pp. 125-134.
12. **Blanco M., Monteserín C., Menéndez M., García A.** *Slip-resistance improvement on paints employed on walking surfaces by the incorporation of nanoparticles.* Progress in Organic Coatings. 2020. Vol. 148. Article 105852.
13. **Chaudhari A. G., Sharma U., Kulkarni M., Mishra P.** *Experimental Investigation of Use of Epoxy Resin in Floor Topping.* International Journal of Advance Research in Engineering and Innovative Ideas in Education (IJARIE). 2022. Vol. 8(3). Pp. 379-387.
14. **Ferrari F., Esposito Corcione C., Striani R., Frigione M.** *Fully Recyclable Bio-Based Epoxy Formulations Using Epoxidized Precursors from Waste Flour: Thermal and Mechanical Characterization.* Polymers. 2021. Vol. 13(16). Article 2768.

Received 19 December 2025

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Чередниченко, Т. Ф.** Исследование перспективных технологических решений по устройству покрытий полов и площадок в спортивных зонах / Т. Ф. Чередниченко, В. И. Николаева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 1(36). – С. 22-31. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.002.

**FOR CITATION:**

**Cherednichenko T. F., Nikolaeva V. I.** *Improvement of flooring installation methods in sports facilities using resource-saving technologies.* Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 1(36). Pp. 22-31. DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.002. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.003

УДК 624.014.2:620.193.53

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПРОГРЕВА ОГНЕЗАЩИЩЕННЫХ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ПОЖАРОВ

**А. М. Зайцев, А. И. Колосов, В. А. Болгов**

Зайцев Александр Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация. тел.: +7(951)56-78-029; e-mail: zaitsev856@yandex.ru

Колосов Александр Иванович, канд. тех. наук, доцент, Первый проректор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: akolosov@cchgeu.ru

Болгов Владимир Александрович, канд. эконом. наук, доцент кафедры цифровой и отраслевой экономики. Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(903)653-73-31; e-mail: V\_Bolgov@mail.ru

Рассматривается задача разработки методики расчета прогрева огнезащищенных стальных конструкций под воздействием углеводородных пожаров. Поставлена математическая задача определения прогрева огнезащитного слоя металла, с учетом того, что металлический слой принимается как тепловая емкость, а прогрев происходит со стороны теплоизоляции. Аналитическое решение получено методом Фурье. Расчетная формула для определения температуры прогрева металла, представлена в виде номограммы. Приведен пример расчета прогрева металлической конструкции для стандартного пожара, а также при воздействии углеводородного пожара и авиационного керосина.

**Ключевые слова:** углеводородный пожар; огнезащищенная конструкция; расчетная номограмма.

Решение задачи прогрева огнезащищенных стальных конструкций при углеводородных пожарах является актуальной задачей. Произведенные в данной работе исследования связаны с расследованием причин обрушения зданий башен-близнецов после теракта 11 сентября 2001 г. в г. Нью-Йорк, изложенные, например, в следующих работах [1, 2], а также в NIST NCSTAR 1A. Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster//Final Report on the Collapse of World Trade Center Building 7.- NIST, August 2008.-116 p. Детальное описание строительных конструкций башен представлено в [3].

Отметим также, что особенностью пожаров в башнях является то, что при ударе самолетов внутрь помещений попал авиационный керосин, температура открытого горения которого составляет 2000 °C [4].

Из-за воздействия высокой температуры пожара несущие стальные колонны башен прогрелись до критической температуры, при которой прочностные характеристик стали снизились до фактических нагрузок, в результате чего начался последовательный выход из строя колонн, а затем последовательное обрушение вниз этажей вплоть до полного разрушения зданий. Поэтому для расследования причин обрушения первостепенное значение имеет прогнозирование изменения температуры стальных колонн в процессе высокоинтенсивного огневого воздействия пожара.

Отметим что подобные воздействия на строительные конструкции (удар – взрыв – пожар) происходят довольно часто. Например, в нашей стране только в жилом секторе происходят десятки взрывов бытового газа, с последующим пожарами. При этом примерно четвертая часть таких событий заканчивается частичным или полным обрушением целых подъездов. При этом часто встает вопрос о возможности дальнейшей эксплуатации

конструкций после воздействия ударной волны взрыва и высокой температуры пожара. Статистика взрывов бытового газа и возможности восстановления жилого дома после взрыва газа и последующего пожара представлены в [5, 6].

Нередки случаи взрывов газа и паровоздушных смесей горючих жидкостей, а также взрывов пыли органического и не органического происхождения происходят на производстве, которые также заканчиваются пожарами. А в наше время, нередко случаи взрывов и пожаров, на предприятиях по переработке и хранению нефтепродуктов при воздействии различных летательных аппаратов.

Фактический предел огнестойкости теплоизолированных металлических конструкций зависит от уровня нагрузки, температурного режима пожара, прочностных, теплофизических и геометрических характеристик металла и огнезащитного слоя и определяется, как правило, временем прогрева металлического слоя до критической температуры. Такие конструкции с теплотехнической точки зрения можно представить в виде двухслойной пластины (рис. 1, а) [7].

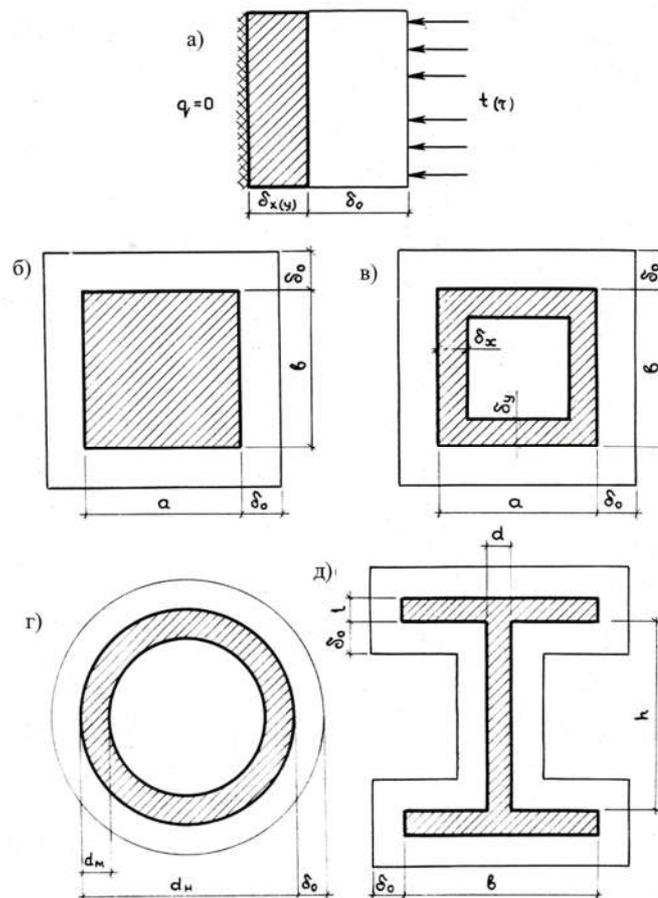


Рис. 1. Схема двухслойной теплоизолированной металлической конструкции:

а – расчетная схема; б, в, г, д – варианты сечения металлических элементов;

$\delta_0$  – толщина теплоизоляционного слоя, м;  $\delta_{x(y),м}$  – расчетное значение приведенной толщины металлического стержня

Для исследования прогрева облицованных стальных конструкций при пожарах необходимо сформулировать математическую постановку задачи и получить ее аналитическое решение. В общей постановке для получения формул для расчета температур прогрева в каждой пластине необходимо решить систему двух дифференциальных уравнений в частных производных, с соответствующими начальными и граничными условиями:

$$\begin{cases} \frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \cdot \frac{\partial^2 t_1(x, \tau)}{\partial x^2}, (0 \leq x \leq l_1) \\ \frac{\partial t_2(x, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \cdot \frac{\partial^2 t_2(x, \tau)}{\partial x^2}, (l_1 \leq x \leq l_2) \end{cases}, \quad (1)$$

со следующими краевыми условиями:

$$\begin{cases} t_1(x, 0) = t_2(x, 0) = t_0, \\ t_1(l_1, \tau) = t_2(l_2, \tau), \\ \frac{\partial t_1(l_1, \tau)}{\partial x} = -\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot \frac{\partial t_2(l_1, \tau)}{\partial x}, \\ t_1(0, \tau) = t_{const}; \end{cases} \quad (2)$$

При этом приняты следующие обозначения:  $t_1(x, \tau), t_2(x, \tau)$  – температура в первой и второй пластине;  $x$  – координата;  $\tau$  – время;  $a$  – коэффициент температуропроводности,  $l_1$  и  $l_2$  – толщина слоев;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $t_{const}$  – постоянная температура на обогреваемой поверхности.

Решение аналогичных задач производится, как правило, конечно-разностным (численным) методом, например, [8, 9]. А расчетные формулы, полученные аналитическими методами, получаются довольно громоздкими и малоприменимыми для расчетной практики [10].

В [11] авторами предложен следующий подход – это приведение многослойных стенок к однослойной стенке, за счет выравнивания теплофизических характеристик отдельных слоев. При этом соответствующим образом должна изменяться толщина преобразованных слоев. Но в настоящее время такой подход пока не нашел широкого распространения и требует дополнительной доработки.

Поэтому принят следующий подход. Огнезащищенные металлические конструкции, как правило, можно представить в виде двухслойной пластины, состоящей из металлического и огнезащитного слоя (см. рис. 1). Прогрев такой двухслойной пластины происходит со стороны огнезащитного слоя, а на поверхности металлического слоя тепловой поток равен нулю. Задачу прогрева такой двухслойной пластины целесообразно рассматривать с учетом существенного различия теплофизических характеристик металлического и огнезащитного слоев, в частности коэффициент теплопроводности стали примерно на два порядка больше чем у изоляционного слоя и поэтому температуру стального слоя по толщине можно считать одинаковой в любой момент времени. В этом случае упрощается математическая постановка задачи, от двухслойной пластины мы переходим к однослойной, с соответствующими граничными условиями.

Задача о прогреве огнезащитной металлической пластины сводится к нахождению нестационарного температурного поля огнезащитного слоя. При этом прогрев металлического слоя (учитывая идеальный контакт слоев) полностью характеризуется температурным режимом плоскости соприкосновения слоев.

Таким образом математическая задача сводится к получению аналитической формулы, характеризующей прогрев металлического слоя в процессе развития пожара сводится к решению системы уравнений (3...6) для огнезащитного слоя [10...14]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad (3)$$

$$t(x, 0) = t_0, \quad (4)$$

$$c_M \rho_M \delta_M \left. \frac{\partial t}{\partial \tau} \right|_{x=0} = -\lambda \left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=0}, \quad (5)$$

$$t(x, \tau) \Big|_{x=\delta} = f(\tau). \quad (6)$$

При этом принято, что начальная температура двухслойной пластины равномерна и равна  $t_0$ . Тепловой поток, проходящий через огнезащитный слой, соответствует увеличению теплосодержания металлического слоя. Температура поверхности огнезащитного слоя со стороны огневого воздействия – произвольная функция времени ( $f(\tau)$ ); индекс «М» обозначает принадлежность к металлическому слою.

Решение системы уравнений (3)...(6) для случая, когда температура пожара постоянна ( $f(\tau)=t_c$ ), согласно [10...14], а также с учетом результатов исследований, изложенных в [13-15], можно представить в виде формулы (7):

$$\frac{t(\eta, F_0) - t_0}{t_c - t_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \left( \cos \mu_n \eta - \frac{\mu_n}{N} \sin \mu_n \eta \right) \exp(-\mu_n^2 F_0), \quad (7)$$

где

$$\eta = \frac{x}{\delta}; F_0 = \frac{a\tau}{\delta^2}, \quad (8)$$

$$A_n = \frac{2 \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n}, \quad (9)$$

$$N = \frac{c \rho \delta}{c_M \rho_M \delta_M}. \quad (10)$$

$N$  – безразмерный параметр, характеризующий отношение теплоаккумулирующей способности теплоизоляционного и металлического слоев (10);  $\mu_n$  – корни характеристического уравнения, определяются из формулы:

$$\operatorname{ctg} \mu = \frac{\mu}{N}. \quad (11)$$

Значения тепловых амплитуд  $A_n$  (9) и корней характеристического уравнения  $\mu_n$  (11) приводятся в [10, (табл. 6.1 и табл. 6.2)].

Отметим, что формула (7) характеризует температурное поле в огнезащитном слое в процессе огневого воздействия. Для нашего случая принято, что начало координат (координата стального слоя) равно 0, поэтому вместо формулы (7), получим расчетную формулу для определения прогрева стального стержня (12):

$$\frac{t_m(F_0) - t_0}{t_{\epsilon, \max} - t_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp(-\mu_n^2 F_0). \quad (12)$$

Для практических расчетов использование формулы довольно затруднительно, поэтому правая часть уравнения (12) для удобства практического применения представлена в виде номограммы на рис. 2.

В результате расчет прогрева стального стержня производится по формуле:

$$t_m(\tau) = t_{\epsilon, \max} - \theta(t_{\epsilon, \max} - t_0), \quad (13)$$

где  $t_{\epsilon, \max}$  – максимальная температура пожара;  $t_0$  – начальная температура конструкции и пожара.

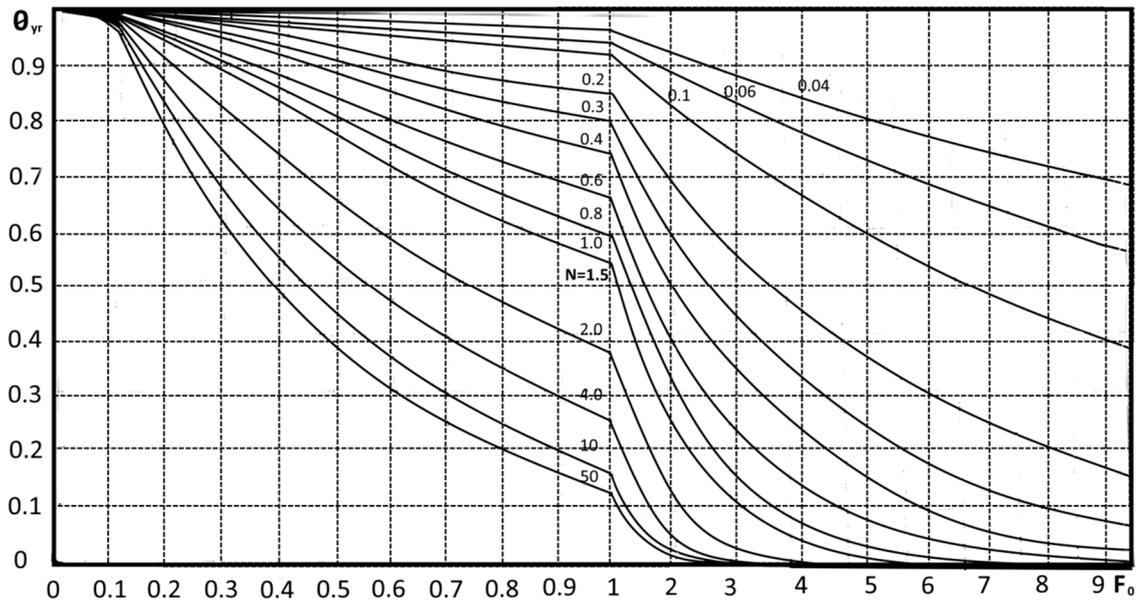


Рис. 2. Номограмма для расчета прогрева стального стержня при воздействии углеводородного пожара:  
 $F_0$  – безразмерное время;  $\theta_{\text{угл.}}$  – безразмерная температура (относительная избыточная температура) металлического слоя;  $N$  – безразмерный параметр, характеризующий отношение объемных теплоемкостей огнезащитного покрытия и металлического слоя

Необходимо отметить, что приведенные в номограмме исходные и искомые величины представлены в безразмерном виде, и охватывают весь диапазон различных параметров необходимых для расчета прогрева стальных колонн в процессе пожара: температуру от начальной температуры пожара до максимально возможной; теплофизические характеристики теплоизоляционных и огнезащитных материалов; безразмерное время, учитывающее толщину и теплофизические характеристики огнезащитного слоя; соотношение объемных теплоемкостей стального и огнезащитного слоев.

*Методика расчета прогрева огнезащищенных стальных конструкций при углеводородных пожарах*

При расчетах, в общем случае, значение коэффициента удельной теплоемкости металлического слоя принимается при температуре, равной среднеарифметическому значению между начальной и критической температурой. Теплофизические характеристики огнезащитного слоя принимаются при температуре, равной среднеарифметическому значению между начальной температурой и конечной температурой обогреваемой поверхности за исследуемый промежуток времени.

В расчетных формулах приняты следующие обозначения:  $t$  – температура в °С;  $\tau$  – время в ч; индекс  $m$  обозначает принадлежность к металлу;  $t_0$  – начальная температура конструкции, °С;  $\theta$  – относительная избыточная температура металлического слоя, которая определяется по рис. 2.

Входящие в номограмму (рис. 2) значения параметров определяются по следующим формулам:

$$F_0 = \frac{a_{np}\tau}{\delta_0^2}, \quad (14)$$

$$N = \frac{(c_{cp} + 0,05w)w_c\delta_0}{C_{cp,m}\rho_m\delta_{x(y),m}}, \quad (15)$$

$$a = \frac{3,6\lambda_{cp}}{(c_{cp} + 0,05w)\rho_c}, \quad (16)$$

$$\rho_c = \frac{100\rho_v}{100+w}, \quad (17)$$

где  $\delta_0$  – толщина теплоизоляционного слоя, м;  $a_{np}$  – приведенный средний коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя, м<sup>2</sup>/ч;  $\rho_c$  и  $\rho_v$  – плотность сухого и влажного материала теплоизоляционного слоя, кг/м<sup>3</sup>;  $w$  – массовая влажность сухого материала, %;  $\lambda_{cp}$  – средний коэффициент теплопроводности сухого материала, Вт/(м °С);  $c_{cp}$  – средний коэффициент удельной теплоемкости сухого материала, кДж/(кг °С);  $\delta_{x(y),m}$  – расчетное значение приведенной толщины металлического стержня.

Расчетные значения теплофизических характеристик материалов металлического и огнезащитного слоев принимаются при среднем значении температуры, между начальной и конечными температурами, металлического и огнезащитного слоев. Значения коэффициентов теплофизических характеристик материалов принимаются при следующих температурах: для стали – 260 °С, для огнезащитных материалов среднеарифметическое значение между максимальной температурой поверхности при реальном пожаре и критическим значением температуры стали.

Приведенная толщина стального стержня вычисляется по формулам, представленным в [10]. Отдельные вопросы по развитию пожара и теплообмену в помещении представлены в [13...15].

Расчет прогрета огнезащищенного стального стержня в условиях огневого воздействия производится в следующей последовательности:

- 1) определяются теплофизические характеристики материалов;
- 2) по формулам [11] определяется значение  $\delta_{x(y),m}$ ;
- 3) по формуле (15) рассчитывается значение параметра  $N$ ;
- 4) по формуле (14) для исследуемого момента времени рассчитывается значение безразмерного времени  $F_0^*$ ;
- 5) по рис. 2 для полученных значений  $N$  и  $F_0^*$  определяется значение относительной избыточной температуры –  $\theta$ ;
- 6) по формуле (13) определяется значение  $t_m(\tau^*)$ .

Расчет по пп. 3-6 выполняется до момента времени, когда температура стального стержня достигнет критического значения ( $t_{кр}$ ) или для исследуемого промежутка времени.

В [11] представлены примеры расчета прогрета огнезащищенных стальных конструкций, а также сравнение результатов расчета с данными стандартных испытаний в огневых камерах ВНИИПО, для различных видов огнезащитных покрытий.

Анализ полученных результатов расчета показал на хорошую сходимость расчетных и экспериментальных данных (при широком диапазоне изменения параметра  $N$  от 0,13 до 5,16), что подтверждает возможность применения разработанной методики в расчетной практике для других температурных режимов реальных пожаров.

Данная методика использовалась для расчета прогрета огнезащищенных стальных колонн ядра сечения небоскребов в процессе пожара. При этом толщина приведенного слоя стали принималась равной 2 см, а толщина огнезащитного слоя также равной 2 см; теплофизические характеристики огнезащитного покрытия принимались, согласно «Руководству по выполнению огнезащитных и теплоизоляционных штукатурок механизированным способом», (при  $a_{np}=0,00067$ ;  $N=0,068$ ) полученные результаты расчета прогрета стальных колонн в процессе пожара представлены в виде таблицы, а также, для повышения информативности в виде графика на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что кривые прогрета стального стержня при стандартном и углеводородном пожарах незначительно отличаются, и при трёх часах огневого воздействия достигают, соответственно 290 и 270 °С. При такой температуре прочностные свойства стали снижаются незначительно.

## Результаты расчетов прогрева стальных колонн при различных пожарах

Наименование параметра	Расчётные значения температур прогрева металлического слоя											
	10	20	30	40	50	60	90	120	150	180	210	240
Время, $\tau$ , мин.												
Значение безразмерного времени $F_0$	0,28	0,55	0,83	1,12	1,39	1,675	2,51	3,35	4,18	5,025	5,86	6,7
Относительная избыточная температура $\Theta$	0,99	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,87	0,83	0,79	0,75	0,71	0,68
Значение температуры горения углеводородного пожара, °С	30,8	52,4	63,2	74	84,8	106,4	160,4	203,6	246,8	290	333,2	365,6
Значение температуры горения стандартного пожара, °С	25,3	38,9	49,6	59,5	70,4	89,6	140,9	183,2	230	272,5	318,7	352,8
Значение температуры горения авиационного керосина, °С	39,8	79,4	99,2	119	138,8	178,4	277,4	356,6	435,8	515	594,3	653,6

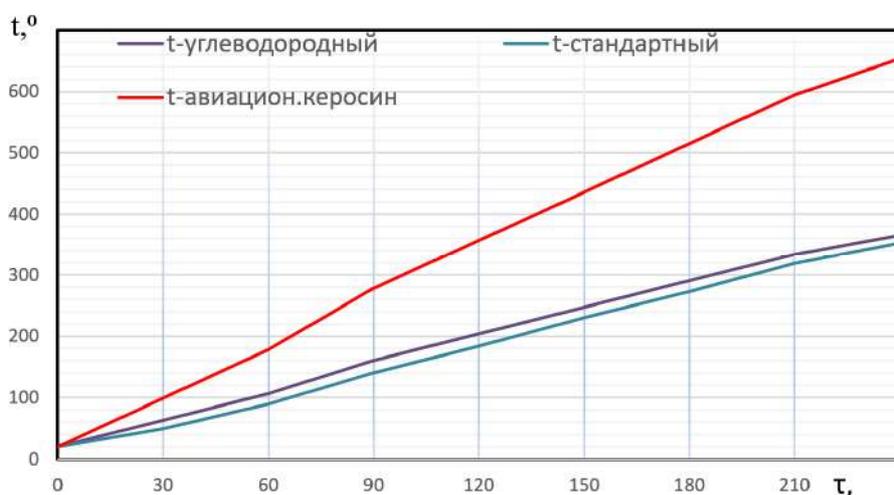


Рис. 3. Графики прогрева стальных колонн, с толщиной стенки 2 см с огнезащитным покрытием из вермикулитовой штукатурки толщиной 20 мм

В описанном выше случае с пожаром башен-близнецов, вместе с пожарной нагрузкой помещений горючими материалами, горел авиационный керосин, температуре горения которого на открытом воздухе, согласно [4] составляет 2000 °С. Из рис. 3 видно, что в этом случае, температура стального стержня (к трем часам пожара) будет гораздо больше – 520 °С, что превышает предельно допустимое значение.

Вследствие этого процесс обрушения зданий начался раньше. При этом Южная башня обрушилась через 49 мин, а Северная башня обрушилась через 102 мин. Такое расхождение по времени обрушения объясняется тем, что действующая нагрузка на несущие колонны ядра сечения (35 этажей сверху), значительно превышала аналогичную нагрузку в Северной башне (15 этажей нагрузка). Вопросы развития пожаров в помещении, а также условия теплообмена высокотемпературной среды со строительными конструкциями представлены в [13...15].

Полученные в данной работе результаты могут быть полезными и при расследовании других подобных воздействий на строительные объекты. Например, авторами исследовалась возможность восстановления жилого дома после взрыва бытового газа и последующего пожара [5, 6].

**Заключение.**

На основе особенностей теплофизических процессов прогрева металлических конструкций при пожарах, предложена математическая формулировка теплотехнической задачи и получена обобщенная аналитическая формула, определяющая прогрев металлического стержня огнезащищенных металлических конструкций при изменении температуры пожара как независимой функции времени.

Из общего решения, как частный случай, получено аналитическое решение для углеводородных пожаров. Для удобства практического применения результаты расчетов представлены в виде номограммы. В результате процесс расчета сводится к простым арифметическим действиям.

Разработана методика расчета прогрева огнезащищенных металлических конструкций в условиях огневого воздействия при углеводородных пожарах. Результаты описанной методики показывают хорошую сходимость с фактическими результатами, которые были зафиксированы при обрушении башен-небоскребов.

Результаты исследований, полученные в данной работе, могут быть полезными при экспертизе обрушений зданий и сооружений, оценке остаточной несущей способности стальных конструкций после реальных пожаров, при разработке рекомендаций по повышению предела огнестойкости стальных конструкций.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Забегаев, А. В.** Анализ стойкости башен всемирного торгового центра против комбинированных особых воздействий типа и «удар-взрыв-пожар» при атаке террористов 11 сентября 2001 / А. В. Забегаев, В. М. Ройтман // Пожаровзрывобезопасность. – 2001. – Т. 10. – № 6. – С. 54-59.
2. **Ройтман, В. М.** Особенности проектирования огнестойкости конструкций и зданий при комбинированных особых воздействиях при участии пожара / В. М. Ройтман // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22. – № 7. – С. 47-54.
3. **Харт, Ф.** Атлас стальных конструкций. Многоэтажные здания / Ф. Харт, В. Хенн, Х. Зактаг. – Москва: Стройиздат, 1977. – 351 с.
4. **Андросов, А. С.** Примеры и задачи по курсу Теория горения и взрыва: учебное пособие / А. С. Андросов, Е. П. Салеев. – Москва: АГПС МЧС России. 2005. – 86 с.
5. О взрывах природного газа и их последствиях в многоэтажном жилом секторе / Е. А. Сушко, А. М. Зайцев, А. А. Кашникова, Д. С. Черных // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – № 3(8). – С. 20-23.
6. **Панфилов, Д. В.** Реновация жилого дома после взрыва и последующего пожара / Д. В. Панфилов, А. М. Зайцев, О. Е. Перекальский // Инженерные системы и сооружения. – 2025. – № 1(59). – С. 137-148.
7. **Зайцев, А. М.** Огнестойкость и огнезащита строительных конструкций: учебное пособие / А. М. Зайцев, М. Д. Грошев. – Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2016. – 149 с.
8. **Кэнери, А. М.** Поведение строительных деталей при нагревании в пламени. / А. М. Кэнери, Д. У. Хояв // Теплопередача. – 1979. – № 2. – С. 207-214.
9. **Лай, Г. Г.** Распределение температуры в колоннах зданий при пожаре / Г. Г. Лай // Теплопередача. – 1979. – № 2. – С. 118-126.
10. **Лыков, А. В.** Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – Москва: Высшая школа, 1967. – 599 с.
11. **Зайцев, А. М.** Метод расчета прогрева многослойных конструкций путем приведения их к однослойной пластине на основе модифицированного уравнения нестационарной теплопроводности Фурье / А. М. Зайцев // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. – Т. 15. – № 3. – С. 55-61.

12. Худиковский, В. А. Метод расчёта огнестойкости теплоизолированных металлических конструкций / В. А. Худиковский, А. М. Зайцев // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурного университета. Строительство и архитектура. – 2008. – № 2(10). – С. 183-187.

13. Зайцев, А. М. Определение коэффициента теплоотдачи в строительных конструкциях при стандартном пожаре / А. М. Зайцев, В. А. Болгов, Д. С. Черных // Гелиогеофизические исследования. – 2014. – № 9. – С. 49-53.

14. Зайцев, А. М. К вопросу прогрева строительных конструкций при граничных уровнях второго рода. / А. М. Зайцев, В. А. Болгов, Д. С. Черных // Гелиогеофизические исследования. – 2014. – № 9. – С. 54-58.

15. Молчадский, И. С. Пожар в помещении / И. С. Молчадский. – Москва: ВНИИ-ПО, 2005. – 456 с.

Поступила в редакцию 15 декабря 2025

## ANALYTICAL SOLUTION AND ALGORITHM OF CALCULATION OF FIRE-RESISTANT STEEL STRUCTURES HEATING UNDER THE INFLUENCE OF HYDROCARBON FIRES

A. M. Zaitsev, A. I. Kolosov, V. A. Bolgov

---

Alexander Mikhailovich Zaitsev, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor of the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(951)567-80-29; e-mail: zaitsev 856@yandex.ru

Alexander Ivanovich Kolosov, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor, First Vice-Rector, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: akolosov@cchgeu.ru

Vladimir Aleksandrovich Bolgov, Cand. Sc. (Econ.), Associate Professor of the Department of Digital and Sectoral Economics, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(903)653-73-31; e-mail: V\_Bolgov@mail.ru

---

In the article we consider the problem of developing a methodology for calculating the heating of fire-protected steel structures under the influence of hydrocarbon fires. A mathematical problem was posed to determine the heating of the fire-resistant metal layer, taking into account that the metal layer is considered as a heat capacity, and the heating occurs from the side of the thermal insulation. An analytical solution was obtained using the Fourier method. The calculation formula for determining the temperature of metal heating was ultimately presented in the form of a nomogram. We provide as well an example of calculating the heating of a metal structure for a standard fire, as well as for a hydrocarbon fire and aviation kerosene.

**Keywords:** hydrocarbon fire; fire-resistant structure; calculation nomogram.

### REFERENCES

1. Zabegaev A. V., Roitman V. M. *Analysis of the resistance of the World Trade Center towers against combined special effects such as impact-explosion-fire during the terrorist attack on September 11, 2001.* Fire and explosion safety. 2001. Vol.10. No. 6.Pp. 54-59 (in Russian)

2. Roitman V. M. *Features of designing the fire resistance of structures and buildings under combined special effects involving fire.* Fire and Explosion Safety. 2013. Vol. 22. No.7. Pp. 47-54. (in Russian)

3. Hart F., Henn V., Zaktag H. *Atlas of steel structures. Multi-storey buildings. Translated from German.* Moscow, Stroyizdat. 1977. 351 p. (in Russian)

4. **Androsov A. S., Saleev E. P.** *Examples and problems in the course Theory of combustion and explosion. Textbook.* Moscow: AGPS EMERCOM of Russia. 2005. 86 p. (in Russian)
5. **Sushko E. A., Zaitsev A. M., Kashnikova A. A., Chernykh D. S.** *About natural gas explosions and their consequences in the multi-storey residential.* Bulletin of the Voronezh Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia. No. 3(8). Pp. 20-23. (in Russian)
6. **Panfilov D. V., Zaitsev A. M., Perekalsky O. E.** *Renovation of an apartment building after an explosion and subsequent fire.* Engineering systems and structures. 2025. No. 1(59). Pp. 137-148(in Russian)
7. **Zaitsev A. M., Groshev M. D.** *Fire resistance and fire protection of building structures. The training manual.* Voronezh, Voronezh GASU. 2016. 149 p.
8. **Kaneri A. M., Hoyav D. U.** *The behavior of building parts when heated in the flame.* Proceedings of the American Society of Mechanical Engineers. Heat transfer. 1979. No. 2. Pp. 207-214 (in Russian)
9. **Lai G. G.** Temperature distribution in the columns of buildings during a fire. Proceedings of the American Society of Mechanical Engineers. Heat transfer. 1979. No. 2. Pp. 118-126 (in Russian)
10. **Lykov A. V.** *Theory of Thermal Conductivity.* Moscow. "Higher School". 1967. 599 p.
11. **Zaitsev A. M.** *A method for calculating the heating of multilayer structures by reducing them to a single-layer plate based on a modified Fourier equation of non-stationary thermal conductivity.* Fire and explosion safety. 2006. Vol. 15. No. 3. Pp. 55-61 (in Russian)
12. **Khudikovskiy V. A., Zaitsev A. M.** *Method for Calculating Fire Resistance of Thermally Insulated Metal Structures.* Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture. Construction and architecture. 2008. No. 2(10). Pp. 183-187. (in Russian)
13. **Zaitsev A. M., Bolgov V. A., Chernykh D. S.** *Determination of the Heat Transfer Coefficient in Building Structures during a Standard Fire.* Heliogeophysical Research. 2014. No. 9. Pp. 49-53 (in Russian)
14. **Zaitsev A. M., Bolgov V. A., Chernykh D. S.** *On the Issue of Heating Up Building Structures at Boundary Levels of the Second Kind.* Heliogeophysical Research. 2014. No. 9. Pp. 54-58 (in Russian)
15. **Molchadsky I. S.** *Fire in a Room.* Moscow, VNIPO. 2005. 456 p. (in Russian)

Received 15 December 2025

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Зайцев, А. М.** Аналитическое решение и алгоритм расчета прогрева огнезащищенных стальных конструкций при воздействии углеводородных пожаров / А. М. Зайцев, А. И. Колосов, В. А. Болгов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 1(36). – С. 32-41. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.003.

**FOR CITATION:**

**Zaitsev A. M., Kolosov A. I., Bolgov V. A.** *Analytical solution and algorithm of calculation of fire-resistant steel structures heating under the influence of hydrocarbon fires.* Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 1(36). Pp. 32-41. DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.003. (in Russian)

## **ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ**

### **ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES**

DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.004

УДК 697.32

#### **УТОЧНЕНИЕ РАСЧЕТА НОРМАТИВНОГО СЕЗОННОГО ЗАПАСА ТВЕРДОГО ТОПЛИВА ДЛЯ КОММУНАЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ**

**Д. Н. Китаев, О. А. Куцыгина, 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

Куцыгина Ольга Александровна, д-р техн. наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(960)113-93-28; e-mail: okuzygina@cchgeu.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

Во многих населенных пунктах Российской Федерации в топливном балансе значительную часть составляет уголь как энергетическое топливо. Запасы топлива в котельных являются важнейшей составляющей энергетической безопасности жилищно-коммунального хозяйства городов. Объемы складов твердого топлива зависят от климатических характеристик местности и обеспечиваемых средних температур в отапливаемых зданиях. Площади складов котельных должны быть достаточны для хранения необходимых объемов топлива при изменении характеристик климата и потребителя тепловой энергии. В статье представлены результаты нахождения диапазонов изменения выработки котельной по отношению к расчетной для самого холодного и трех наиболее холодных месяцев отопительного периода на территории РФ при изменении средней температуры воздуха отапливаемых зданий от 16 до 24 °С, необходимые для расчета нормативных запасов топлива. Получены выражения для определения минимального и максимального значения параметра относительных температур самого холодного и трех наиболее холодных месяцев, позволяющие с высокой точностью определить возможные диапазоны изменения величин относительных тепловых нагрузок. Представлены результаты расчетов нормативных запасов топлива и площади штабеля угля для котельной в интервале возможных средних температур внутреннего воздуха отапливаемых зданий.

**Ключевые слова:** нормативные запасы топлива; уголь; склад топлива; котельная; расход топлива.

Задача определения запасов топлива является одной из важнейших при эксплуатации источников выработки тепловой энергии на объектах коммунальной инфраструктуры [1...3]. Своевременное и всестороннее решение задачи определения объемов хранения топлива способствует повышению надежности энергоснабжения потребителей и энергетической безопасности регионов в целом [4...6]. После распада СССР возник дисбаланс в структуре добычи и потребления топлива теплоснабжающими предприятиями. Многие коммунальные котельные были вынуждены искать самостоятельно поставщиков топлива, а объемы запасов на складах не были экономически обоснованы. Такая ситуация приводила к перебоям в топливоснабжении, нарушению теплоснабжения, невозможности выдерживать расчетный температурный график регулирования, и даже закрытию котельных. Только в 2005 г. в Минпромэнерго была утверждена методика обоснования нормативов

создания запасов топлива на тепловых электростанциях и котельных и организована работа по их утверждению [7].

Важность правильного и своевременного расчета запасов топлива также обуславливается применением утвержденной методики при ценообразовании в теплоснабжении и наличием административной ответственности за нарушения в области их нормирования и использования. Расчет нормативного эксплуатационного запаса топлива (НЭЗТ) производится ежегодно на 1 октября планируемого года для каждой котельной, использующей твердое или жидкое топливо, а неснижаемого нормативного запаса (ННЗТ) один раз в три года.

Для значительной части регионов РФ уголь как энергетическое топливо остается важнейшим элементом в жилищно-коммунальном хозяйстве городов [8...10], большое внимание уделяется повышению эффективности топливного хозяйства котельных [11, 12], оптимизации процессов доставки топлива [13, 14].

В соответствии порядком определения нормативов запасов топлива на источниках тепловой энергии, формула для расчета неснижаемого нормативного запаса ННЗТ, тыс. тонн имеет вид:

$$ННЗТ = Q \frac{t_i - t_{min}}{t_i - t_{x5}} H_{cp.m.} \frac{1}{K} 24T10^{-6}, \quad (1)$$

где  $Q$  – расчетная мощность котельной Гкал/ч;  $H_{cp.m.}$  – норматив удельного расхода топлива на отпущенную тепловую энергию для самого холодного месяца;  $K$  – коэффициент перевода фактически используемого топлива в условное;  $T$  – длительность периода формирования объема неснижаемого запаса топлива, принимаемое с учетом количества суток на которые он рассчитывается в зависимости от вида топлива и способа его доставки, сут.;  $t_i, t_{min}, t_{x5}$  – температуры внутреннего воздуха в отапливаемых зданиях, самого холодного месяца года и расчетная для проектирования отопления соответственно, °С.

В формуле (1) определяющее значение при определении запаса топлива для котельной, расположенной в произвольной местности на территории РФ, имеет отношение температур  $(t_i - t_{min}) / (t_i - t_{x5})$ , которое обозначим  $\bar{t}$ . В практике расчетов значение  $t_i$  принимают 18°C, но возможно использование и других в зависимости от назначения здания. Очевидно, что максимальное значение  $\bar{t}$  будет наблюдаться для местности с наиболее холодной температурой  $t_{min}$  и одновременно максимально высокой  $t_{x5}$ . Для определения возможных диапазонов изменений значения  $\bar{t}$  использовались климатические данные СП 131.13330 Результаты расчетов значения  $\bar{t}$  при  $t_i = 18$  °С представлены на рис. 1.

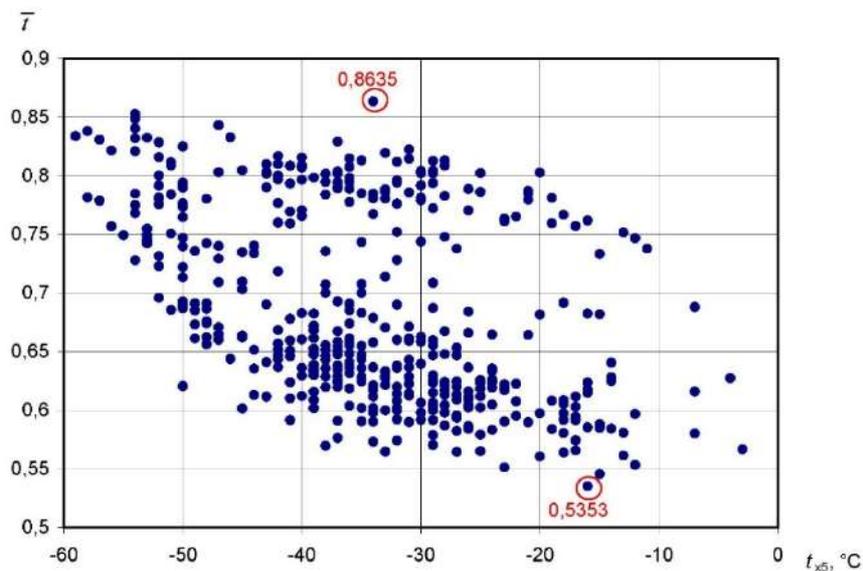


Рис. 1. Результаты расчетов значения  $\bar{t}$  при  $t_i = 18$  °С

Как следует из результатов расчета и рис. 1 величина  $\bar{t}$  может иметь значения от 0,5353 до 0,8635, следовательно, в этом же диапазоне находится тепловая мощность котельной в самом холодном месяце по отношению к расчетной. Минимальному значению соответствуют климатические данные населенного пункта Майкоп, а максимальному Завитинск. В зависимости от характеристики климата значение неснижаемого нормативного запаса топлива может максимально измениться в 1,613 раза. Можно принять среднее значение  $\bar{t}=0,7$  с погрешностью  $\pm 0,165$ .

Нормативный эксплуатационный запас топлива  $HЭЗТ$ , тыс. т. для котельных на твердом и жидком топливе определяется в соответствии с выражением

$$HЭЗТ = Q_{\max}^{\vartheta} H_{cp.m.3} \frac{1}{K} T_1 10^{-6}, \quad (2)$$

где  $Q_{\max}^{\vartheta}$  – среднеарифметическое значение отпуска тепловой энергии котельной, Гкал/ч для трех наиболее холодных месяцев отопительного периода;  $H_{cp.m.3}$  – норматив удельного расхода топлива на отпущенную тепловую энергию для трех самых холодных месяцев;  $T_1$  – количество суток, принимаемое 30 для жидкого топлива и 45 для твердого.

С учетом подстановки выражения для  $Q_{\max}^{\vartheta}$  и значений средних температур второго  $t_2$  и третьего  $t_3$  холодного месяца после преобразований получим выражение:

$$HЭЗТ = 8QH_{cp.m.3} \frac{1}{K} T_1 \left( \frac{3t_i - t_{\min} - t_2 - t_3}{t_i - t_{x5}} \right) 10^{-6} = 8QH_{cp.m.3} \frac{1}{K} T_1 \bar{t}_{cp.3} 10^{-6}. \quad (3)$$

На рис. 2 представлены результаты расчетов значения  $\bar{t}_{cp.3}$  по всем пунктам, приведенным в СП 131.13330.

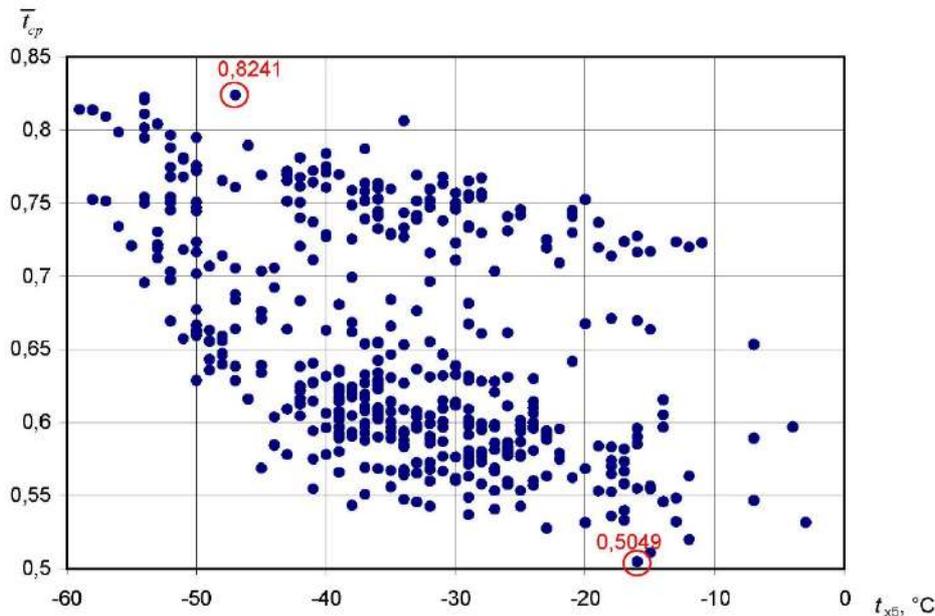


Рис. 2. Результаты расчетов значения  $\bar{t}_{cp.3}$  при  $t_i = 18^\circ\text{C}$

Как следует из результатов расчета и рис. 2 величина  $\bar{t}_{cp.3}$  может иметь значения от 0,5049 до 0,8241. Минимальному значению соответствуют климатические данные населенного пункта Майкоп, а максимальному Омолон. В зависимости их характеристики климата значение неснижаемого нормативного запаса топлива может максимально измениться в 1,632 раза. Можно принять среднее значение  $\bar{t}_{cp.3}=0,6645$  с погрешностью  $\pm 0,16$ .

В таблице представлены результаты расчетов экстремальных значений  $\bar{t}$  для самого холодного и остальных двух  $\bar{t}_2$ ,  $\bar{t}_3$  зимних месяцев и среднее значение  $\bar{t}_{cp}$  в интервале средних температур внутреннего воздуха отапливаемых зданий от 16 до 24 °С.

Результаты расчета экстремальных значений  $\bar{t}$  для зимних месяцев

$\bar{t}_i$	$\bar{t}$		$\bar{t}_2$		$\bar{t}_3$		$\bar{t}_{cp}$	
Пункт	Майкоп	Завитинск	Майкоп	Омолон	Феодосия	Омолон	Майкоп	Омолон
$t_i, ^\circ\text{C}$	мин.	макс	мин.	макс	мин.	макс	мин.	макс
16	0,5063	0,8580	0,4719	0,8000	0,4321	0,8175	0,4740	0,8185
18	0,5353	0,8635	0,5029	0,8062	0,4700	0,8231	0,5049	0,8241
20	0,5611	0,8685	0,5306	0,8119	0,5031	0,8284	0,5324	0,8294
22	0,5842	0,8732	0,5553	0,8174	0,5324	0,8333	0,5570	0,8343
24	0,6050	0,8776	0,5775	0,8225	0,5583	0,8380	0,5792	0,8390

Из результатов расчетов и данных таблицы следует, что наибольшая разница при расчете нормативного неснижаемого запаса топлива в 1,7 раза будет наблюдаться для условий г. Майкоп и Завитинск Амурской обл., а эксплуатационного в 1,73 для г. Майкоп и сельского поселения Омолон Чукотского АО. Наблюдается тенденция увеличения разницы экстремальных значений с понижением средней температуры отапливаемых зданий.

Получены выражения для определения (крайних значений диапазона изменения) минимального и максимального значения параметра  $\bar{t}$  и  $\bar{t}_{cp}$ , позволяющие с относительной погрешностью 0,036 % и 0,042 % определить возможные диапазоны изменения величин относительных тепловых нагрузок в интервале средних температур внутреннего воздуха в отапливаемых зданиях от 16 до 24 °С:

$$\bar{t}_{1\min} = 0,24366 \ln t_i - 0,1691, \quad (4)$$

$$\bar{t}_{1\max} = 0,73526 t_i^{0,05564}, \quad (5)$$

$$\bar{t}_{cp\min} = 0,2596 \ln t_i - 0,2456, \quad (6)$$

$$\bar{t}_{cp\max} = 0,69125 t_i^{0,06087}. \quad (7)$$

В зависимости от климатических особенностей местности и средней температуры отапливаемых зданий объем общего запаса топлива будет значительно отличаться, а следовательно и площадь склада котельной. Рассмотрим пример котельной с расчетной мощностью 5,72 Гкал/ч, расположенной в г. Шарыпово Красноярского края. В котельной основным видом топлива является бурый уголь, привозимый автотранспортом, обладающий низшей теплотворной способностью 3740 ккал/кг. Нормативы расходов  $H_{cp.m.} = 160,1$  и  $H_{cp.m.3} = 159,3$  кг у.т./Гкал. При расчете площади штабеля учитывались требования инструкций по складированию топлива в соответствии с которыми высота штабеля принята 2,5 м, ширина 20 м, крутизна откосов 45°. Насыпная плотность  $\rho_n$  в расчетах принималась 0,85 т/м<sup>3</sup>. Результаты расчетов запасов топлива и площади штабелей топлива приведены на рис. 3.

Результаты расчетов запасов топлива показывают (см. рис. 3) что значение общего нормативного запаса в интервале средних температур отапливаемых зданий от 16 до 26 °С лежит в диапазоне от 1339,4 до 1486,3 тонн, что составляет 10,97 %. Пропорционально массе изменяется площадь, занимаемая топливом, лежащая в диапазоне от 720,3 до 799,4 м<sup>2</sup>. Минимальное значение площади топлива для котельной с аналогичными параметрами в зависимости от региона расположения и внутренних средних температур воздуха может находиться в диапазоне от 582,8 до 734,1 м<sup>2</sup>, а максимальное от 1000,5 до 1030,3 м<sup>2</sup>.

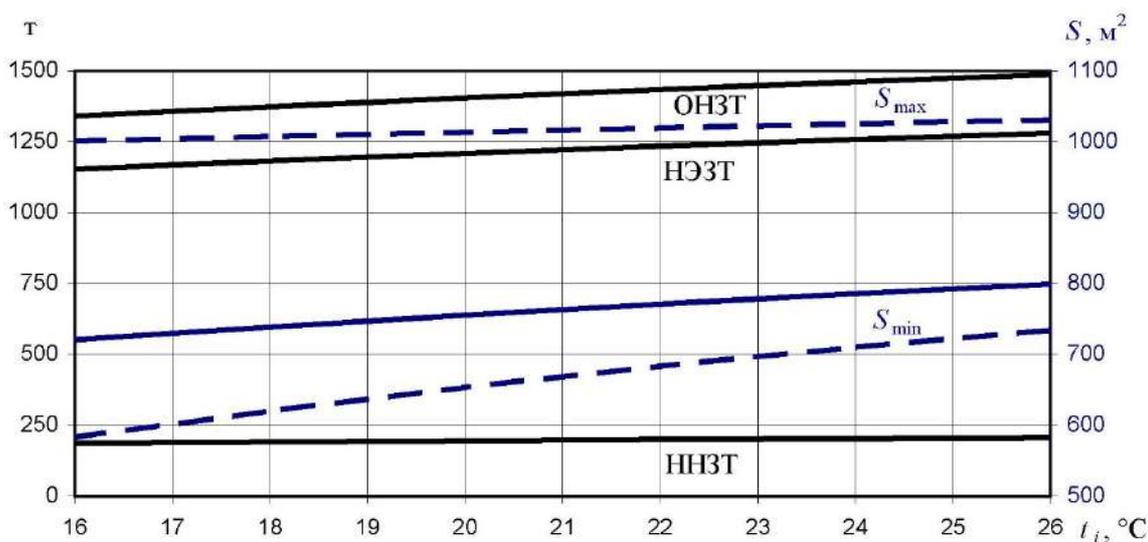


Рис. 3. Зависимость массы запасов топлива и площади складирования от температуры отопляемых зданий

### Заключение.

В результате проведенных расчетов установлены диапазоны изменения выработки котельной по отношению к расчетной в самом холодном месяце от 0,5063 до 0,8776 и трех наиболее холодных месяцев отопительного периода от 0,474 до 0,839 на территории РФ при изменении средней температуры воздуха отопляемых зданий от 16 до 24 °С.

Получены выражения для определения (крайних значений диапазона изменения) минимального и максимального значения параметра  $\bar{t}$  и  $\bar{t}_{cp}$ , позволяющие с относительной погрешностью 0,036 % и 0,042 % определить возможные диапазоны изменения величин относительных тепловых нагрузок в интервале средних температур внутреннего воздуха в отопляемых зданиях от 16 до 24 °С.

Представлены результаты расчетов нормативных запасов топлива и площади штабеля угля для котельной в диапазоне средних температур внутреннего воздуха отопляемых зданий от 16 до 26 °С, показано, что при этом площадь для хранения топлива изменяется на 11 %.

Представленные результаты могут быть использованы при перспективном планировании запасов топлива и объемов топливных складов котельных.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гужов, С. В.** Составление прогнозного топливно-энергетического баланса котельной в условиях недостаточности данных / С. В. Гужов, Е. Г. Гашо, В. А. Шепель // Энергетические системы. – 2019. – № 1. – С. 33-39.
2. Уголь и устойчивое развитие арктических территорий России в условиях энергетического перехода / Т. А. Панфилова, Н. А. Ашуров, М. М. Платошина [и др.] // Уголь. – 2025. – № 6(1194). – С. 43-47. – DOI 10.18796/0041-5790-2025-6-43-47.
3. **Бирюков, Н. А.** Экономико-математическая модель обеспечения энергетической безопасности зданий и сооружений при обосновании объема и партии поставки топливно-энергоресурса / Н. А. Бирюков // Сметно-договорная работа в строительстве. – 2020. – № 11. – С. 35-43.
4. **Сат, С. А.** Проблемы теплоснабжения Республики Тыва / С. А. Сат, Ш. Ч. Соян // Уголь. – 2025. – № 8(1196). – С. 81-84. – DOI 10.18796/0041-5790-2025-8-81-84.
5. **Такайшвили, Л. Н.** Тенденции и перспективы использования энергетических углей Восточной Сибири / Л. Н. Такайшвили, Г. В. Агафонов // Известия Томского политех-

нического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 3. – С. 15-28. – DOI 10.18799/24131830/2022/3/3598.

6. **Куцыгина, О. А.** Управление затратами на предприятиях: учебное пособие / О. А. Куцыгина. – Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2001. – 84 с. – ISBN 5-89040-072-х.

7. **Марченко, М. Е.** Создание методики расчета запасов топлива - одна из важнейших задач энергетики / М. Е. Марченко // Энергосбережение и водоподготовка. – 2006. – № 2(40). – С. 75-76.

8. **Куулар, В. В.** Уголь в топливно-энергетическом балансе Республики Тыва / В. В. Куулар // Уголь. – 2024. – № 11(1186). – С. 64-68. – DOI 10.18796/0041-5790-2024-11-64-68.

9. **Павлов, Н. В.** Уголь в топливно-энергетическом балансе Республики Саха (Якутия) / Н. В. Павлов, Л. Н. Такайшвили, А. Е. Иванова // iPolytech Journal. – 2022. – Т. 26. – № 4. – С. 657-668. – DOI 10.21285/1814-3520-2022-4-657-668.

10. **Федоров, В. И.** Эколого-технологические аспекты выпуска угольной продукции потребителям арктических районов Республики Саха (Якутия) / В. И. Федоров // Горная промышленность. – 2024. – № 6. – С. 152-157. – DOI 10.30686/1609-9192-2024-6-152-157.

11. Анализ системы топливоподачи ТЭЦ / Д. Н. Касемканов, А. Т. Жумагажинов, А. С. Кузкенов, Ж. А. Какибаев // Вестник университета Шакарима. Серия технические науки. – 2025. – № 2(18). – С. 399-404. – DOI 10.53360/2788-7995-2025-2(18)-49.

12. Целесообразность и перспективы внедрения энергосберегающих инноваций в эксплуатационной сфере объектов инфраструктуры / О. А. Куцыгина, Д. В. Ельшин, О. В. Елагин, Г. Н. Галицын // Социально-экономические проблемы развития предприятий и регионов: сборник статей XX Международной научно-практической конференции, Пенза, 29...30 июня 2016 года. – Пенза, 2016. – С. 56-63.

13. Разработка компонентов программного обеспечения для автоматизации расчетов норматива запасов продукции / Г. А. Гареева, Д. К. Садыков, Ю. А. Яшина [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 4. – С. 133-136.

14. **Шеховцов, А. И.** Перспективы железнодорожных перевозок угля в новых регионах / А. И. Шеховцов, Я. В. Магилатов, О. А. Антипин // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. – 2025. – № 1(76). – С. 6-14.

*Поступила в редакцию 25 ноября 2025*

## CLARIFICATION OF THE CALCULATION FOR THE STANDARD SEASONAL RESERVE OF SOLID FUEL FOR MUNICIPAL BOILER ROOMS

**D. N. Kitaev, O. A. Kutsygina, M. S. Khomyakov**

---

Dmitry Nikolaevich Kitaev, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(906)6710284; e-mail: dim.kit@rambler.ru

Olga Aleksandrovna Kutsygina, Dr. Sc. (Techn.), Professor, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(960)1139328; e-mail: okuzygina@cchgeu.ru

Maxim Sergeevich Khomyakov, student, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(920)5141387; e-mail: maximkhomyakov.vrn@gmail.com

---

In many populated areas of the Russian Federation coal as a fuel accounts for a significant portion of the fuel balance. Fuel reserves in boiler rooms are a crucial component of the energy security of urban housing and utilities. Solid fuel storage capacity depends on the local climate and the average temperatures maintained in heated buildings. Boiler house storage

areas must be sufficient to accommodate the required fuel storage volumes under changing climate and heat consumer conditions. This article presents the results of determining the ranges of variation in boiler output relative to the design value for one coldest month and three coldest ones of the heating season in the Russian Federation with average air temperatures in heated buildings varying from 16 to 24°C, which are necessary for calculating standard fuel reserves. We determined the minimum and maximum values of the relative temperatures for one coldest month and three coldest ones, allowing for a highly accurate determination of the possible ranges of variation in relative heat loads. We as well present the results of calculations of standard fuel reserves and coal stack area for a boiler room in the range of possible average indoor air temperatures of heated buildings.

**Keywords:** standard fuel reserves; coal; fuel reserves; boiler house; fuel consumption.

## REFERENCES

1. **Guzhov S. V., Gasho E. G., Shepel V. A.** *Compilation of a forecast fuel and energy balance of a boiler house in conditions of insufficient data.* Energy systems. 2019. No. 1. Pp. 33-39. (in Russian)
2. **Panfilova T. A., Ashurov N. A., Platoshina M. M [et al.].** *Coal and sustainable development of the Arctic territories of Russia in the context of the energy transition.* Coal. 2025. No. 6(1194). Pp. 43-47. DOI 10.18796/0041-5790-2025-6-43-47. (in Russian)
3. **Biryukov N. A.** *Economic and mathematical model for ensuring energy security of buildings and structures when justifying the volume and batch of fuel energy resource supply.* Estimating and contractual work in construction. 2020. No. 11. Pp. 35-43. (in Russian)
4. **Sat S. A., Soyán Sh. Ch.** *Problems of heat supply in the Republic of Tyva.* Coal. 2025. No. 8(1196). Pp. 81-84. DOI 10.18796/0041-5790-2025-8-81-84. (in Russian)
5. **Takayshvili L. N., Agafonov G. V.** *Trends and Prospects for the Use of Energy Coals in Eastern Siberia.* Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering. 2022. Vol. 333. No. 3. Pp. 15-28. DOI 10.18799/24131830/2022/3/3598. (in Russian)
6. **Kutsygina O. A.** *Cost Management at Enterprises: A Textbook.* Voronezh: Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, 2001. 84 p. ISBN 5-89040-072-x. (in Russian)
7. **Marchenko M. E.** *Development of a methodology for calculating fuel reserves is one of the most important tasks in the energy sector.* Energy saving and water treatment. 2006. No. 2(40). P. 75-76. (in Russian)
8. **Kuular V. V.** *Coal in the fuel and energy balance of the Republic of Tyva.* Coal. 2024. No. 11 (1186). Pp. 64-68. DOI 10.18796/0041-5790-2024-11-64-68. (in Russian)
9. **Pavlov N. V., Takaishvili L. N., Ivanova A. E.** *Coal in the fuel and energy balance of the Republic of Sakha (Yakutia).* iPolytech Journal. 2022. Vol. 26, No. 4. Pp. 657-668. DOI 10.21285/1814-3520-2022-4-657-668. (in Russian)
10. **Fedorov V. I.** *Ecological and technological aspects of the release of coal products to consumers in the Arctic regions of the Republic of Sakha (Yakutia).* Mining industry. 2024. No. 6. Pp. 152-157. DOI 10.30686/1609-9192-2024-6-152-157. (in Russian)
11. **Kasemkanov D. N., Zhumagazhinov A. T., Kuzkenov A. S., Kakibaev Zh. A.** *Analysis of the fuel supply system of a combined heat and power plant.* Bulletin of Shakarim University. Technical sciences series. 2025. No. 2(18). Pp. 399-404. DOI 10.53360 / 2788-7995-2025-2 (18) -49. (in Russian)
12. **Kutsygina O. A., Elshin D. V., Elagin O. V., Galitsyn G. N.** *Feasibility and prospects for introducing energy-saving innovations in the operational sphere of infrastructure facilities.* Social and economic problems of enterprise and regional development: collection of articles from the XX International scientific and practical conference, Penza, June 29-30, 2016. Edited by G. A. Reznik. Penza. 2016. P. 56-63. (in Russian)

13. **Gareeva G. A., Sadykov D. K., Yashina Yu. A. [et al.]**. *Development of software components for automation of calculations of product inventory standards*. Scientific and technical bulletin of the Volga region. 2022. No. 4. Pp. 133-136. (in Russian)

14. **Shekhovtsov A. I., Magilatov Ya. V., Antipin O. A.** *Prospects for railway transportation of coal in new regions*. Collection of scientific papers of the Donetsk Institute of Railway Transport. 2025. No. 1(76). Pp. 6-14. (in Russian)

*Received 25 November 2025*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Китаев, Д. Н.** Уточнение расчета нормативного сезонного запаса твердого топлива для коммунальных котельных / Д. Н. Китаев, О. А. Куцыгина, М. С. Хомяков // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 1(36). – С. 42-49. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.004.

**FOR CITATION:**

**Kitaev D. N., Kutsygina O. A., Khomyakov M. S.** *Clarification of the calculation for the standard seasonal reserve of solid fuel for municipal boiler rooms*. Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 1(36). Pp. 42-49. DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.004. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.005

УДК 631.344.8

## РАЗРАБОТКА КОНВЕКТИВНО-ЛУЧЕВОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ТЕПЛИЦЫ

Н. А. Колядин, О. Н. Попов, И. В. Рогов

Колядин Никита Андреевич, магистрант кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Российская Федерация, тел.: +7(910)758-08-65; e-mail: nikita2288113355@mail.ru

Попов Олег Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Российская Федерация, тел.: +7(920)230-50-56; e-mail: popov\_oleeg@mail.ru

Рогов Иван Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Российская Федерация, тел.: +7(915)663-53-19; e-mail: IvanRogow@rambler.ru

Современные системы формирования микроклимата в теплицах, эксплуатируемых круглогодично, требуют разработки точных и надежных методов расчета. В статье рассмотрен алгоритм расчета лучисто-конвективной системы отопления промышленной теплицы, учитывающий влияние массообменных процессов на потребление тепловой энергии, а также влияние рециркуляции воздуха на потребление ресурсов. Представлен результат реализации предлагаемого алгоритма расчета лучисто-конвективной системы отопления, для промышленной теплицы «Арочная – 12М». Полученные данные позволили разработать комбинированную систему отопления, состоящую из инфракрасных обогревателей, формирующих тепловой режим почвы, и вихревой трубы, используемой для поддержания требуемого значения температуры воздуха внутри помещения теплицы.

**Ключевые слова:** система воздушного отопления; система лучевого отопления; теплица; уравнение теплового баланса.

Продовольственная безопасность страны – важный фактор социально-экономического развития, который обеспечивает суверенитет и рост качества жизни граждан. Основа для этого – эффективная работа агропромышленного комплекса (АПК). Именно поэтому внедрение инноваций в агропромышленном секторе – стратегически важная задача, которая активно поддерживается государством.

Выступая на 27-й агропромышленной выставке «Золотая осень», премьер-министр РФ Михаил Мишустин заявил о необходимости создавать условия для масштабного внедрения научно-исследовательских разработок, направленных на обеспечение продовольственной безопасности страны.

На сегодняшний день продовольственная безопасность в России регулируется целым комплексом правил и актов, распространяющихся на все виды продуктов питания, в том числе овощи и фрукты, выращенные в тепличных комплексах.

Теплицы являются передовой структурой для выращивания сельскохозяйственных культур в защищенном грунте. Поскольку потребность в свежей зелени и овощах очень высока, а выращивание сельскохозяйственных культур на открытом воздухе связана с рисками (температурные колебания, град, сильный ветер и т.д.), существует спрос на зимние теплицы, которые позволяют минимизировать негативные последствия погодных факторов, а также выращивать сельскохозяйственные культуры круглогодично [1].

Основная часть энергопотребления в сельском хозяйстве расходуется на отопление теплиц, предназначенных для круглогодичного использования [2]. Это, в первую очередь,

связано с использованием в качестве ограждающих конструкций материалов, обладающих низким термическим сопротивлением (сотовый поликарбонат, стекло) [3, 4].

Формирование необходимого микроклимата в теплицах создается за счет четкого регулирования работы установок для отопления и вентиляции, которые в свою очередь играют немаловажную роль в потреблении тепловой энергии в случае забора воздуха из окружающей среды без предварительного его подогрева (особенно в зимний период). Энергопотребление возрастает с увеличением заданной величины температуры внутри сооружения [5]. Поддержание необходимой температуры для выращивания овощей в теплицах, как правило, осуществляют с использованием традиционных систем отопления, имеющих ряд недостатков, что побуждает искать более энергоэффективные технологии обогрева [6].

Как показывает практика, независимое использование таких способов обогрева теплиц как воздушное и водяное не всегда целесообразно, поэтому разработка комбинированной системы отопления теплицы является актуальной задачей.

На основании анализа современных тенденций в строительстве и исследованиях теплиц предлагается для обогрева почвы использовать систему лучистого (инфракрасного) отопления, а для обогрева воздушной массы – систему воздушного отопления.

Инфракрасное отопление способно обеспечить прогрев почвы для поддержания температурного режима, а система воздушного (конвективного) отопления способна равномерно прогреть весь воздушный объем теплицы [7, 8].

На рис. 1 представлена блок-схема алгоритма расчёта комбинированной системы отопления, состоящая из последовательных и параллельных этапов, реализация которых позволяет получить всю необходимую информацию для конструирования системы отопления.

Для проведения расчётов комбинированной системы отопления по предложенному алгоритму на начальном этапе необходимо сформировать исходные данные, включающие район строительства, климатические параметры наружного воздуха в соответствии с СП 131.13330.2025 «Строительная климатология», геометрические размеры теплицы, вид и толщина покрытия, вид выращиваемой культуры, параметры температурно-влажностного режима теплицы в соответствии РД-АПК 1.10.09.01-14 «Методические рекомендации по технологическому проектированию теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады».

В общем виде уравнение теплового баланса теплицы с комбинированной системой отопления имеет вид

$$Q_{\text{co}} = Q_{\text{возд}} + Q_{\text{изл}} = \sum Q_{\text{отр}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{гр}} + Q_{\text{п}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{co}}$  – тепловая мощность системы комбинированного отопления, Вт;  $Q_{\text{возд}}$  – тепловая мощность воздушной системы отопления, Вт;  $Q_{\text{изл}}$  – тепловая мощность лучистой (инфракрасной) системы отопления, Вт;  $\sum Q_{\text{отр}}$  – сумма тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции теплицы, Вт;  $Q_{\text{в}}$  – тепловые потери с вентиляционным воздухом, удаляемым из теплицы, Вт;  $Q_{\text{гр}}$  – тепловые потери через грунт, Вт;  $Q_{\text{п}}$  – тепловые потери в процессе полива, связанные с испарением влаги с поверхности почвы, Вт.

Тепловые потери через ограждающие конструкции [9]:

$$Q_{\text{отр}} = F \cdot k \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) \cdot n, \quad (2)$$

где  $F$  – площадь поверхности ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>,  $k$  – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $t_{\text{вн}}$  – температура воздуха внутри помещения теплицы, °С;  $t_{\text{н}}$  – температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки района строительства обеспеченностью 0,92, °С;  $n$  – коэффициент, учитывающий зависимость положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху.

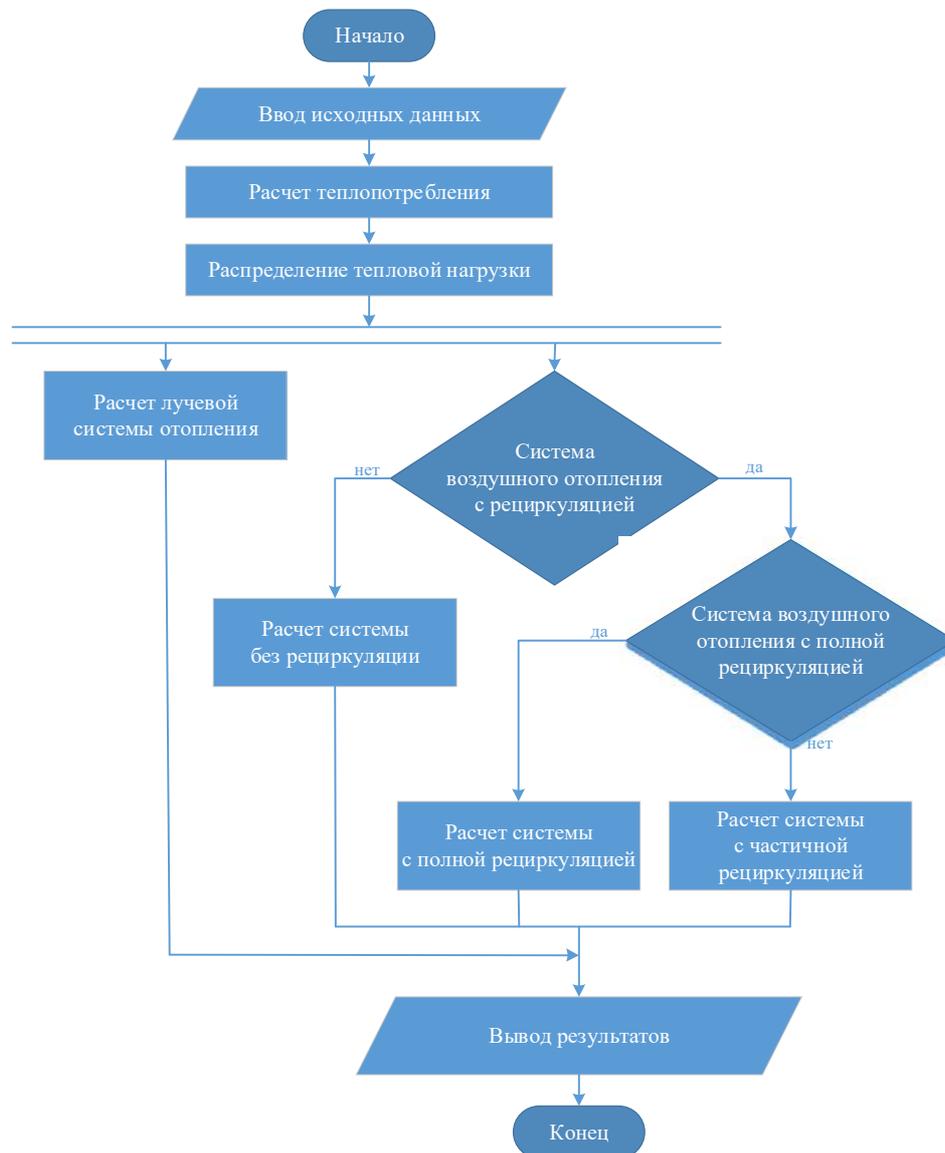


Рис. 1. Алгоритм расчёта комбинированной системы отопления

Тепловые потери через грунт [9]:

$$Q_{гр} = \left( \frac{F^I}{R_{н.п.}^I} + \frac{F^{II}}{R_{н.п.}^{II}} + \frac{F^{III}}{R_{н.п.}^{III}} + \frac{F^{IV}}{R_{н.п.}^{IV}} \right) (t_v - t_n), \quad (3)$$

где  $R_{н.п.}^I$ ,  $R_{н.п.}^{II}$ ,  $R_{н.п.}^{III}$ ,  $R_{н.п.}^{IV}$  – сопротивления теплопередаче первой, второй, третьей и четвертой зон;  $F^I$ ,  $F^{II}$ ,  $F^{III}$ ,  $F^{IV}$  – площади первой, второй, третьей и четвертой зон.

Количество тепла на систему вентиляции:

$$Q_{вент} = 0,28 \cdot V_{тепл} \cdot n \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{вн} - t_n), \quad (4)$$

где  $V_{тепл}$  – объём теплицы,  $m^3$ ,  $n$  – кратность воздухообмена, 1/ч;  $\rho$  – плотность воздуха,  $kg/m^3$ ;  $c$  – теплоёмкость воздуха,  $kJ/(kg \cdot ^\circ C)$ .

Количество теплоты, расходуемое на испарения влаги от полива

$$Q_{п} = G_{исп} \cdot r, \quad (5)$$

где  $r$  – удельная теплота фазового превращения,  $kJ/kg$ ;  $G_{исп}$  – количество влаги испаряемой с поверхности почвы,  $kg/s$ .

После определения суммарной тепловой нагрузки на систему комбинированного отопления по выражению (1) осуществляется ее распределение между лучевой и воздушной системами. Сначала определяется тепловая нагрузка на лучевую систему отопления.

Лучистая составляющая тепловой мощности комбинированной системы отопления

$$Q_{\text{изл}} = q_{\text{изл}} \cdot F_{\text{пов}}, \quad (6)$$

где  $q_{\text{изл}}$  – максимальная интенсивность инфракрасного излучения, Вт/м<sup>2</sup>;  $F_{\text{пов}}$  – площадь поверхности почвы теплицы, м<sup>2</sup>.

Интенсивность инфракрасного излучения имеет ограниченное значение в зависимости от присутствия рабочего персонала в теплице, принимается в соответствии с СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

Далее путем вычитания тепловой нагрузки лучевой системы отопления из суммарной тепловой нагрузки находится тепловая нагрузка системы воздушного отопления.

После распределения тепловых нагрузок между системами комбинированного отопления алгоритм разделяется на два параллельных процесса, где отдельно осуществляется расчёт системы воздушного и лучевого отопления.

Предложенный алгоритм позволяет рассчитать различные способы организации системы воздушного отопления, а именно: прямоточную, частично рециркуляционную, полностью рециркуляционную. Вне зависимости от реализуемой схемы системы воздушного отопления, методика расчета после определения тепловой нагрузки предусматривает определение необходимого количества воздуха, подаваемого в систему и расчет системы воздухопроводов, обеспечивающих равномерное распределение воздуха по теплице.

При расчете воздухопроводов определяются длина, диаметр, количество поворотов и другие факторы, влияющие на сопротивление воздуха. При расчете частично рециркуляционной системы помимо описанных выше параметров методика расчета предусматривает определение кратности циркуляции и значения температуры воздуха, получаемой при смешении внутреннего и наружного воздуха.

После проведения расчёта комбинированной системы отопления формируется результат расчётов, позволяющий подобрать соответствующее оборудование (воздухонагреватель, вентиляторы, воздухопроводы и т.д.). При выборе оборудования необходимо учитывать его производительность, мощность, размеры и другие характеристики. Так, например, при подборе оборудования лучевой системы отопления необходимо учитывать высоту подвеса, расстояние между обогревателями, схему расположения.

Рассмотрим применение предлагаемого алгоритма расчета лучисто-конвективной системы отопления на примере промышленной теплицы «Арочная-12М».

Исходные данные для выполнения расчета приведены в таблице.

Исходные данные для расчета

Наименование параметра	Значение
Геометрические характеристики теплицы:	
✓ длина, м	20
✓ ширина, м	12
✓ высота (в верхней точке), м	6
✓ площадь, м <sup>2</sup>	240
✓ объем, м <sup>3</sup>	1131
Характеристики ограждающих конструкций теплицы:	
✓ материал	сотовый поликарбонат
✓ толщина, мм	10
✓ термическое сопротивление ограждения, м <sup>2</sup> К/Вт	0,25
Параметры наружного воздуха (для условий г. Тамбова):	
✓ температура, °С	-25
✓ продолжительность отопительного периода, дн	197
✓ средняя температура отопительного периода, °С	-3,2

Окончание табл. 1

Наименование параметра	Значение
Параметры внутреннего воздуха: ✓ температура, °С ✓ относительная влажность, %	18 65
Температура поверхности почвы, °С	15
Параметры вентиляции: ✓ - система вентиляции ✓ - кратность воздухообмена	принудительная с механическим побуждением 1,0 м <sup>3</sup> /мин на 1 м <sup>2</sup>

По итогам программного расчета определено, что потери теплоты через наружные ограждения теплицы составляют 65,3 кВт; тепловые потери с вентиляционным воздухом, удаляемым из теплицы, 16,3 кВт; тепловые потери через грунт 3,7 кВт; расход тепла на процесс парообразования с поверхности почвы, 49 кВт.

На рис. 2 представлена зависимость расчетных тепловых потерь в теплице от температуры наружного воздуха  $t_n$ , °С в течение года.

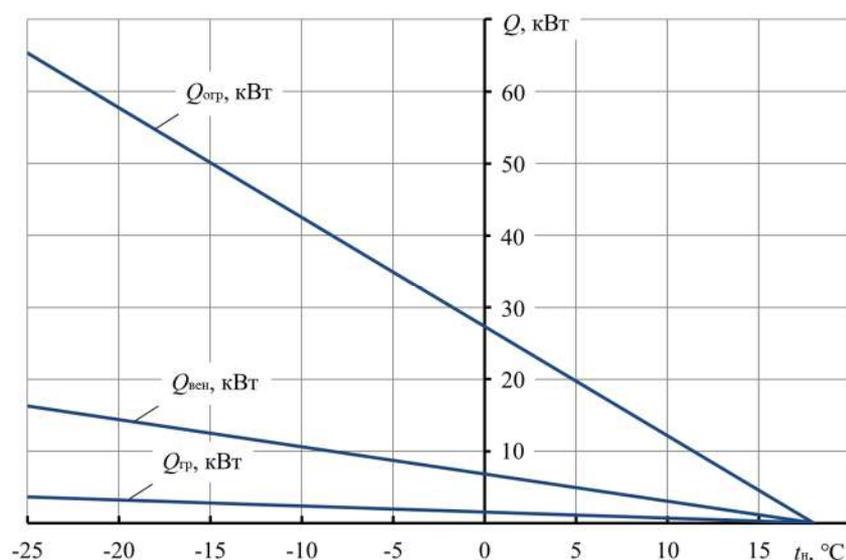


Рис. 2. Зависимость расчетных тепловых потерь в теплице от температуры наружного воздуха

Из представленных зависимостей на рис. 2 видно, что основные тепловые потери в теплице приходятся на ограждающие конструкции, а именно 76 %. Причем в долевом отношении эта величина не изменяется в течение всего периода работы системы отопления. Во многом это можно объяснить низким термическим сопротивлением ограждающих конструкций ( $R_{огр}^{\phi} = 0,25 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ), выполненных из сотового поликарбоната.

Распределение полученной тепловой нагрузки между составляющими комбинированной системы отопления на основании рекомендаций действующих норм составило: 75 кВт – тепловая нагрузка воздушной системы отопления; 60 кВт – система лучистого отопления.

Для регулирования отпуска тепла построен график тепловых нагрузок систем отопления в зависимости от температуры наружного воздуха на основании предыдущих расчетов (рис. 3).

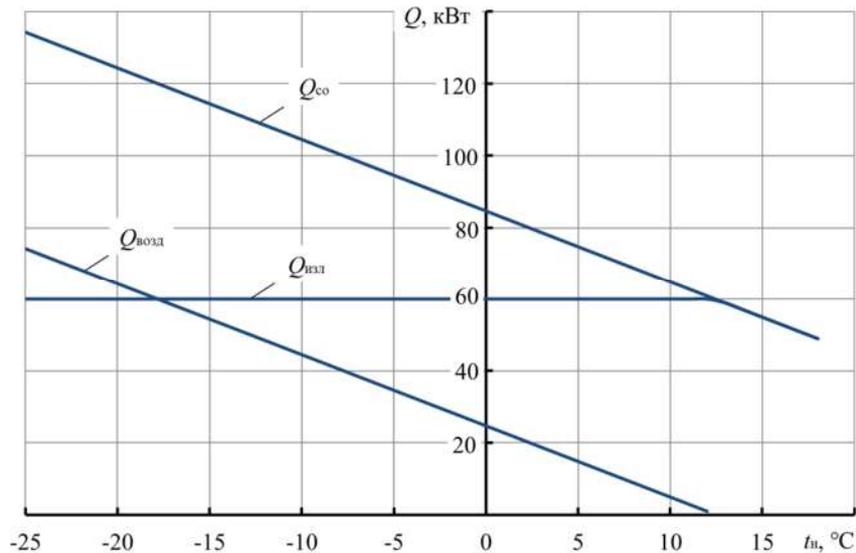


Рис. 3. Зависимость нагрузок на системы отопления от температуры наружного воздуха

Из рис. 3 видно, что тепловая нагрузка воздушной системы отопления с увеличением температуры наружного воздуха уменьшается. В свою очередь, нагрузка на лучевую систему отопления остаётся постоянной до температуры 12 °С. Далее система воздушного отопления перестаёт работать, а количество тепла, расходуемое на процесс парообразования с поверхности почвы, обеспечивается лучевой системой отопления.

Для выбора режима работы системы воздушного отопления построена зависимость расхода воздуха (рис. 4), подаваемого в теплицу различными способами воздушной системы отопления, от температуры наружного воздуха, представленная на рис. 4.

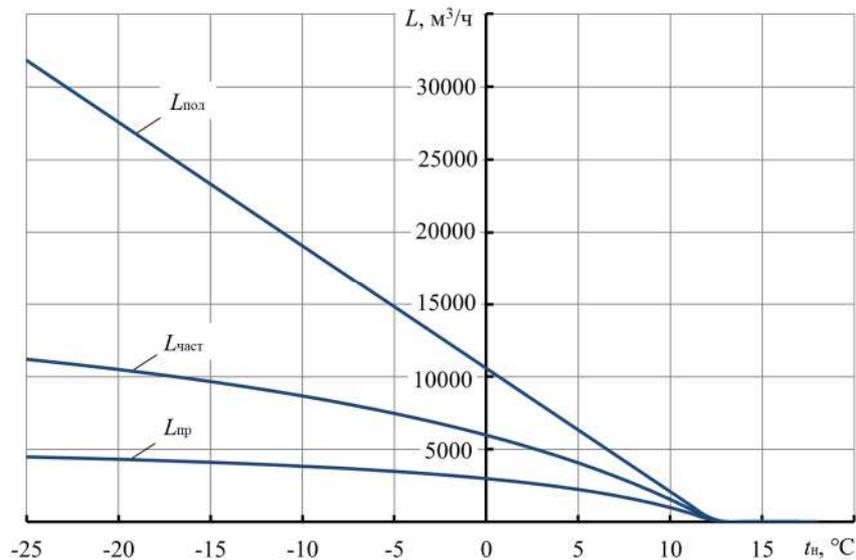


Рис. 4. Зависимость расхода воздуха, подаваемого в теплицу от температуры наружного воздуха:  
 $L_{пол}$  – с полной рециркуляцией;  $L_{част}$  – с частичной рециркуляцией;  $L_{пр}$  – без рециркуляции.

Из представленных зависимостей на рис. 4 видно, что система воздушного отопления с частичной рециркуляцией является наиболее гибкой, что делает ее предпочтительной для реализации. Система может эксплуатироваться в трех режимах: отопительном, отопительно-вентиляционном и вентиляционном. Выбор режима определяется исходя из количества забираемого наружного воздуха и значением температуры воздуха подаваемого в помещение теплицы.

На рис. 5 представлена зависимость количества забираемого воздуха от температуры наружного воздуха при постоянном значении коэффициента рециркуляции.

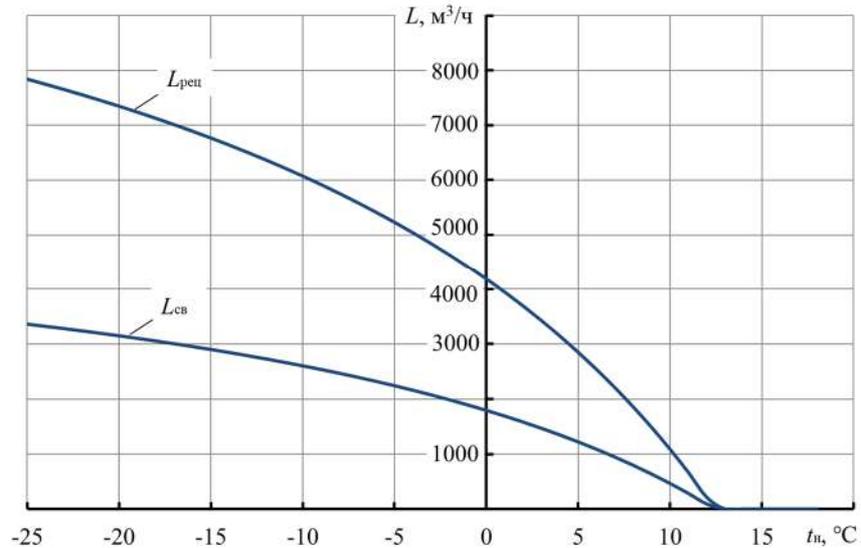


Рис. 5. Зависимость расхода воздуха системы отопления с частичной рециркуляцией от температуры наружного воздуха:

$L_{реци}$  – расход рециркуляционного воздуха;  $L_{св}$  – расход наружного воздуха

На основании результатов аэродинамического расчёта и описанных выше данных с соблюдением норм, прописанных в НТП-АПК 1.10.09.001-02 «Нормы технологического проектирования селекционных комплексов и репродукционных теплиц» разработана комбинированная система отопления промышленной теплицы «Арочная-12М».

На рис. 6 представлен план помещения теплицы с расположением отопительных приборов (инфракрасных обогревателей) лучевой системы отопления.

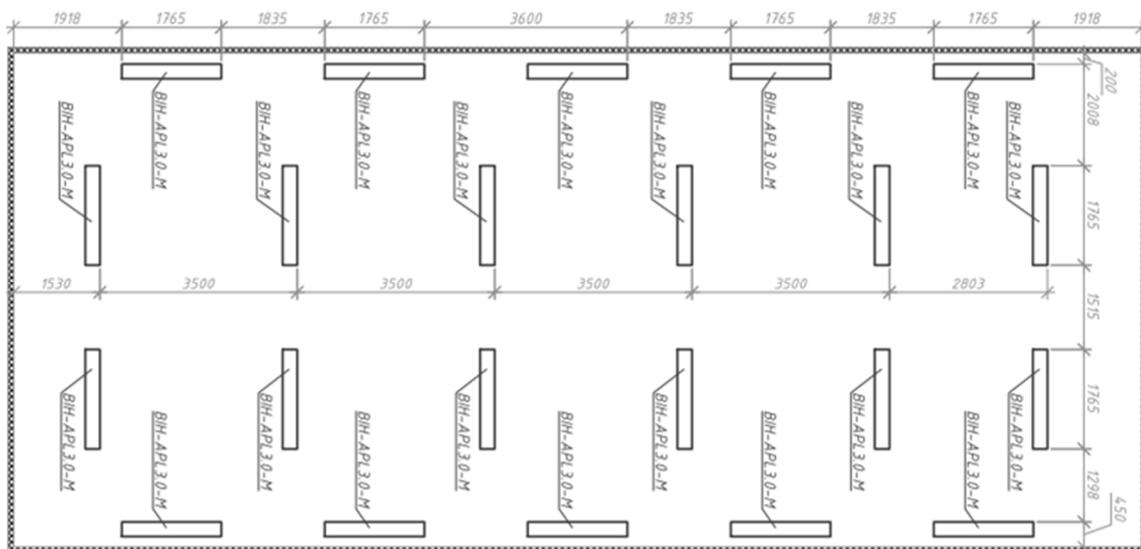


Рис. 6. Схема расположения инфракрасных обогревателей

Лучевая система отопления включает 22 инфракрасных обогревателя (*ВИН-АРЛ-3.0-М*) единичной мощностью 3 кВт каждый, установленных на высоте 4 м от уровня пола (грунта). Данная расстановка отопительных приборов позволяет равномерно прогреть всю поверхность почвы.

На рис. 7 представлена схема системы воздушного отопления с частичной рециркуляцией. Система выполнена из оцинкованных воздуховодов, открыто проложенных в теплице, расположенных на высоте 1 м от уровня пола (грунта). К магистральным воздуховодам примыкают ветки длиной 0,5 м перпендикулярно полу и имеющие направление в сторону кровли, на конце которых располагаются диффузоры для подачи воздуха в помещение теплицы. Это позволит избежать прямого попадания воздуха на растения и равномерно прогреть весь воздушный объем теплицы.

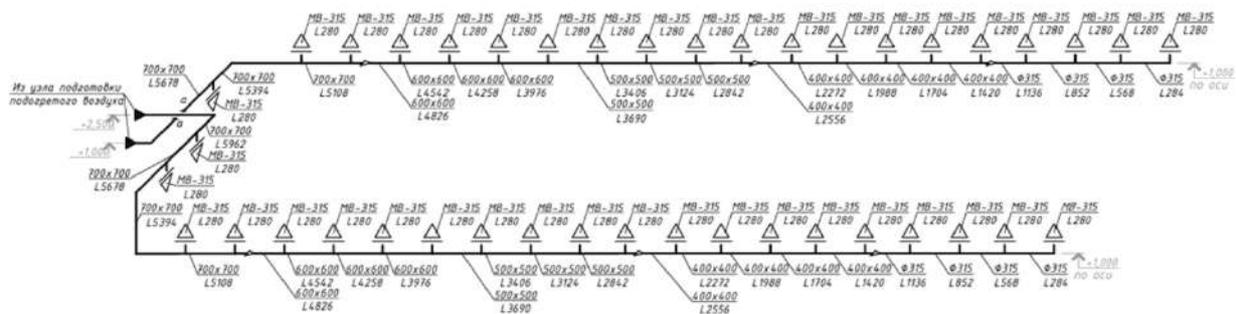


Рис. 7. Аксонометрическая схема системы воздушного отопления

Для осуществления рециркуляции системы отопления воздух забирается из верхней зоны теплицы, и по системе воздуховодов перемещается в узел подготовки теплоносителя (воздуха), расположенный в соседнем помещении. Воздух, подаваемый в теплицу, подогревается до температуры 25 °С, что позволяет поддерживать заданную температуру воздуха в помещении теплицы с учетом смешения воздушных потоков и теплообмена с ограждающими поверхностями. Данная температура ограничена верхним пределом. Это необходимо для поддержания комфортного микроклимата для выращивания культур.

Для нагрева воздуха, поступающего в систему воздушного отопления теплицы, предлагается использовать вихревую трубу. На рис. 8 представлена принципиальная технологическая схема узла подготовки воздуха с использованием вихревой трубы.

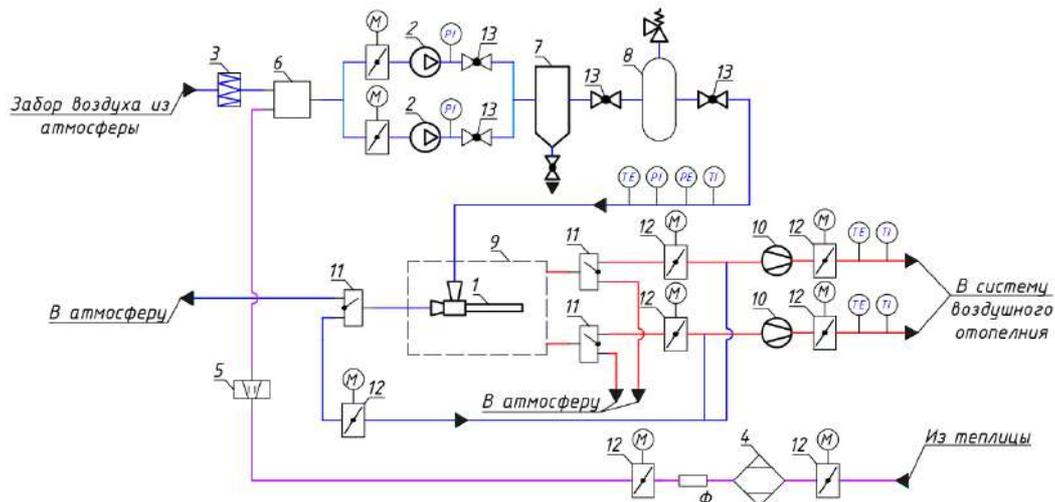


Рис. 8. Принципиальная технологическая схема:

- 1 – вихревая труба; 2 – компрессор; 3 – фильтр грубой очистки; 4 – осушитель воздуха;
- 5 – регулирующий клапан с регулирующим расходом; 6 – смешительная камера; 7 – сепаратор; 8 – ресивер;
- 9 – вентиляционная камера; 10 – вентилятор; 11 – переключатель потока;
- 12 – заслонка с электрическим приводом; 13 – шаровый кран

Для работы вихревой трубы (1) необходим сжатый воздух, получаемый в компрессоре (2). Так как система с частичной рециркуляцией, то предусмотрен забор

воздуха как из атмосферы, так и из помещения теплицы. Забираемый из атмосферы воздух проходит через фильтр грубой очистки (3), а из теплицы через осушитель (4), после которого установлен датчик влажности воздуха, который будет подавать сигнал о неисправности устройства. Данный элемент необходим, так как забор воздуха будет осуществляться во время полива, и излишняя влажность воздуха может негативно отразиться на работе всей установки.

Для регулирования расхода воздуха из теплицы установлен регулирующий клапан (5). Потоки атмосферного и тепличного воздуха смешиваются в смесительной камере (6), образуя воздушную смесь со значением температуры выше значения температуры наружного воздуха. Это позволяет снизить энергетические затраты на систему воздушного отопления.

Сжатый в компрессоре (2) воздух поступает в сепаратор (7), где из воздуха удаляется влага, частички масла и прочих загрязнений. Для стабильной работы системы установлен ресивер сжатого воздуха (8), позволяющий осуществить равномерную подачу сжатого воздуха к вихревой трубе и снизить нагрузку на компрессор. Вихревая труба располагается в вентиляционной камере (9). Вентиляционная камера предназначена для снижения уровня шума, образующегося при работе вихревой трубы. К вентиляционной камере присоединяются два воздуховода, предназначенные для подачи воздуха в систему воздушного отопления.

Для компенсации аэродинамических потерь в системе и обеспечения стабильной подачи тёплого воздуха установлен канальный вентилятор (10). Так как подача горячего воздуха в помещение теплицы осуществляется не регулярно, установлены переключатели потока (11). В период, когда горячий воздух не требуется, он будет удаляться в атмосферу. В тёплый период времени, когда значение температуры окружающей среды выше значения температуры, требуемой в теплице, в систему воздухопроводов будет подаваться холодный поток воздуха. Воздуховод с холодным потоком напрямую соединён с вихревой трубой. Аналогично через переключатель потока (11) холодный поток будет подавать в помещение теплицы, либо выбрасываться в атмосферу. В качестве вспомогательных элементов используются заслонки с электрическим приводом (12) и краны шаровые (13).

Для мониторинга работы оборудования и параметров теплоносителя на схеме расположены контрольно-измерительные приборы.

Регулирование расхода теплоносителя (воздуха) реализовано двумя способами. Первый способ заключается в использовании *VSD* – компрессора с ПИД регулятором. Данное регулирование позволит в широких диапазонах изменять расход воздуха с сохранением рабочего давления. Второй способ регулирования заключается в изменении коэффициента массового расхода вихревой трубы. В совокупности эти два способа позволяют поддерживать требуемые параметры системы отопления.

### **Заключение.**

Предложен алгоритм расчета, учитывающий влияние массообменных процессов на потребление тепловой энергии, а также влияние рециркуляции воздуха на потребление ресурсов, который может быть использован при проектировании комбинированных систем отопления теплиц.

Предложена технологическая схема для нагрева воздуха, поступающего в систему воздушного отопления теплицы с использованием вихревой трубы. Применение вихревой трубы позволит не только обеспечивать выработку необходимых параметров воздуха, подаваемого в воздушную систему отопления при различных режимах эксплуатации теплицы в отопительный период, но и поддерживать требуемый температурный режим в теплое время года, что позволит защитить растения от перегрева.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Волкова, И. Н.** Тепличная отрасль хозяйства России и факторы, влияющие на её развитие и размещение / И. Н. Волкова // Географическая среда и живые системы . – 2021. – № 1. – С. 93-109.
2. **Чиркова, И. Г.** Анализ электропотребления в сельскохозяйственном производстве / И. Г. Чиркова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 2. – С. 13-14.
3. **Липатов, А. В.** Повышение эффективности систем отопления теплиц / А. В. Липатов, Е. В. Спиридонова, А. Ф. Фролов // Инновационные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: материалы V Международной научно-практической конференции. – Саратов: ООО «Амирит», 2017. – С. 108-112.
4. **Баишева, Л. М.** Микроклимат фермерской теплицы в условиях Крайнего Севера / Л. М. Баишева, Л. А. Львова // Перспективы науки. – 2019. – № 11(122). – С. 22-25.
5. **Чиркова, И. Г.** Снижение энергоемкости выращивания овощей защищенного грунта как фактор повышения их конкурентоспособности / И. Г. Чиркова, А. Д. Болгов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 2. – С. 61-66.
6. Современный подход к отоплению теплиц / В. Б. Ловкис, Н. А. Деменок, О. В. Ловкис, О. Г. Мартинов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – Минск: Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. – С. 334-342.
7. **Павлов, М. В.** Комбинированная система отопления зимней теплицы / М. В. Павлов, Д. Ф. Карпов // Вестник ВоГУ. Серия: Технические науки. – 2020. – № 4 (10). – С. 59-63.
8. **Павлов, М. В.** Способ расчета комбинированной системы отопления культивационного сооружения на примере зимней теплицы / М. В. Павлов, Д. Ф. Карпов // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. – 2019. – №12. – С. 47-55.
9. Проектирование систем отопления и вентиляции зданий: учебное пособие / А. А. Балашов, Н. Ю. Полунина, В. А. Ивановский, Д. С. Кацуба. – Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014 – 132 с.

*Поступила в редакцию 27 января 2026*

## DEVELOPMENT OF A RADIANT-CONVECTIVE HEATING SYSTEM FOR GREENHOUSES

**N. A. Kolyadin, O. N. Popov, I. V. Rogov**

---

Nikita Andreevich Kolyadin, Master's Student of the Department of Enterprise Energy Supply and Thermal Engineering, Tambov State Technical University, Tambov, Russia, tel.: +7(910)758-08-65; e-mail: nikita2288113355@mail.ru

Oleg Nikolaevich Popov, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor of the Department of Enterprise Energy Supply and Thermal Engineering, Tambov State Technical University, Tambov, Russia, tel.: +7(920)230-50-56; e-mail: popov\_oleeg@mail.ru

Ivan Vladimirovich Rogov, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor of the Department of Enterprise Energy Supply and Thermal Engineering, Tambov State Technical University, Tambov, Russia, tel.: +7(915)663-53-19; e-mail: IvanRogow@rambler.ru

---

Modern systems for creating a microclimate in greenhouses that are year-round operated require the development of sufficiently accurate and reliable calculation methods. The article discusses an algorithm for calculating the radiant-convective heating system of an industrial greenhouse, which takes into account the influence of mass transfer processes on the con-

sumption of thermal energy, as well as the influence of air recirculation on resource consumption. The article presents the results of implementing the proposed algorithm for calculating the radiant-convective heating system for the *Arochnaya-12M* industrial greenhouse. The data obtained allowed us to develop a combined heating system consisting of infrared heaters that create a thermal regime for the soil, and a vortex tube used to maintain the required air temperature inside the greenhouse.

**Keywords:** air heating system; radiation heating system; greenhouse; thermal balance equation.

## REFERENCES

1. **Volkova I. N.** *The greenhouse industry in Russia and the factors affecting its development and location.* Geographical Environment and Living Systems. 2021. No. 1. Pp. 93-109. (in Russian)
2. **Chirkova I. G.** *Analysis of electricity consumption in agricultural production.* Mechanization and electrification of agriculture. 2007. No. 2. Pp. 13-14. (in Russian)
3. **Lipatov A. V., Spiridonova A. V., Frolov A. F.** *Improving the efficiency of greenhouse heating systems.* Innovative Technologies in Construction, Heat and Gas Supply, and Energy Supply: Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference. Saratov. Amirit LLC. 2017. Pp. 108-112. (in Russian)
4. **Baisheva L. M., Lvova L. A.** *The microclimate of a farm greenhouse in the Far North.* Perspectives of Science. 2019. No. 11(122). Pp. 22-25. (in Russian)
5. **Chirkova I. G., Bolgov A. D.** *Reducing the energy intensity of growing protected-ground vegetables as a factor in increasing their competitiveness.* Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2018. No. 2. Pp. 61-66. (in Russian)
6. **Lovkis V. B., Demenok N. A., Lovkis O. V., Martinov O. G.** *Modern approach to heating greenhouses.* Mechanization and electrification of agriculture. Minsk: Republican Unitary Enterprise «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization». 2012. Pp. 334-342. (in Russian)
7. **Pavlov M. V., Karpov D. F.** *Combined Heating System for a Winter Greenhouse.* Vestnik VOSU. Series: Technical Sciences. 2020. No. 4(10). Pp. 59-63. (in Russian)
8. **Pavlov M. V., Karpov D. F.** *Calculation method for a combined heating system of a cultivation facility on the example of a winter greenhouse.* Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2019. No. 12. Pp. 47-55. (in Russian)
9. **Balashov A. A., Polunina N. Y., Ivanovsky V. A., Katsuba D. S.** *Design of heating and ventilation systems of building.* Tambov, FGBOU VPO "TSTU". 2014. 132 p. (in Russian)

*Received 27 January 2026*

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

**Колядин, Н. А.** Разработка конвективно-лучевой системы отопления теплицы / Н. А. Колядин, О. Н. Попов, И. В. Рогов // *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура.* – 2026. – № 1(36). – С. 50-60. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.005.

## FOR CITATION:

**Kolyadin N. A., Popov O. N., Rogov I. V.** *Development of a radiant-convective heating system for greenhouses.* Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 1(36). Pp. 50-60. DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.005. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.006

УДК 628.12

## ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ НА ВОДОЗАБОРАХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

И. Ю. Пурусова

---

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

---

Основной задачей обеспечения качественного и безопасного водоснабжения является подача питьевой воды согласно проектным данным с высоким показателем эффективности работы водозабора. Необходимо совершенствование эксплуатации водозаборов подземных вод путём оптимизации работы погружных насосов, установленных в скважинах. Насосные агрегаты на действующих водозаборах подземных вод работают в энергетически затратных режимах, снижается общая производительность водозабора. Приведена оценка эксплуатационных режимов водозабора с данными замеров по фактической производительности установленных насосных агрегатов. Проведена оценка энергоэффективной работы погружных насосов по требованиям технического стандарта. Рассчитан наиболее экономичный режим эксплуатации погружных насосов в пределах рабочего диапазона по показателю удельного энергопотребления по каждой скважине.

**Ключевые слова:** водозабор подземных вод; погружной насос; энергетическая эффективность; подача воды.

Обеспечение качественного безопасного водоснабжения из подземных источников с защитой от техногенного воздействия – одна из важных проблем, обусловленная возрастанием требований потребителей к качеству питьевой воды [1...3]. В значительной степени необходимо совершенствование эксплуатации водозаборов подземных вод путём оптимизации работы погружных насосов, установленных в скважинах [2, 3]. Как показывает накопленный опыт управления водозабором – режимы работы не всегда соответствуют требованиям нормативно-технических документов и внутренних регламентов, предъявляемым к системам жилищно-коммунального хозяйства, в части энергетической эффективности их работы [4...7].

Обзор научных публикаций, показал, что необходимо практическое решение проблемы обеспечения качественного и безопасного водоснабжения, при этом основной задачей является подача питьевой воды согласно проектным данным с высоким показателем эффективности работы водозабора [8...10].

Исследуемый действующий водозабор подземных вод [11...12] входит в состав водоподъёмной станции, подающей питьевую воду потребителям [11...12]. На водозаборе подземных вод линейное расположение 14 скважин, из них 12 круглосуточно функционируют скважин, а две скважины находятся в резерве (рис. 1). Погружными насосами вода подаётся в напорный трубопровод, затем транспортируется через сборный водовод в (резервуар питьевой воды) РПВ.

В водозаборных скважинах установлены центробежные погружные насосные агрегаты марки ЭЦВ 10-120-60, отечественного производства ГСМ «Ливгидромаш».

Замеры основных параметров погружных насосов на водозаборе, работающих в системе: скважина – насос – сборный водовод – РПВ показали, что на одном створе одни скважины передавливают, либо «тормозят» работу других. Насосные агрегаты начинают

работать в энергетически затратных режимах, снижается общая производительность водозабора. Во избежание таких негативных явлений на действующих водозаборах соблюдают баланс напоров на отводящих трубопроводах в сборный водовод с помощью дросселирующих устройств. Такой способ управления требует обеспечения режима работы каждого насоса в оптимальных зонах наибольшего КПД. Для этого необходимо постоянно контролировать подачу и напор погружных насосов, установленных в скважинах и обеспечивать управление дросселирующими устройствами.

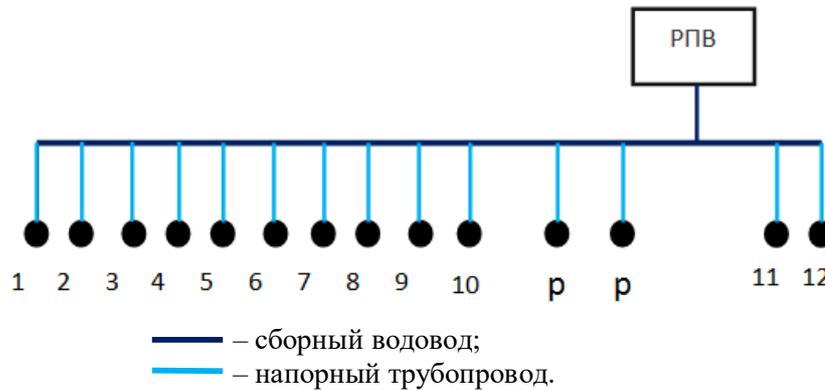


Рис. 1. Расположение скважин, сборного трубопровода и РПВ на водозаборе подземных вод: 1...12 – действующие водозаборные скважины; р – резервные водозаборные скважины

Оптимальный режим работы насосов указывается в ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414:2015) «Энергетическая эффективность. Оценка энергоэффективности насосных систем» по эксплуатации насосов. Номинальный режим работы насосов рекомендуется заводами-производителями с указанием напорной характеристики в паспорте агрегата.

В качестве профиля нагрузки погружного центробежного насоса используют профиль от номинальной нагрузки [1], соответствующий зоне максимальной энергоэффективности насоса. Точка ВЕР (Best Efficiency Point) для водоподъемного оборудования – это точка наивысшей эффективности определяется как (75...110 %) – максимальный КПД насоса. Диапазон точки ВЕР от 70...75 % до 110...120 % номинальной подачи. В этих границах обеспечивается номинальный режим работы центробежных погружных насосов.

Показатель удельной энергии на единицу продукции  $E_s$  [1...3], то есть на 1 м<sup>3</sup> перекачиваемой воды, номинальное значение  $E_{so}$ , кВт/м<sup>3</sup>, определяется по формуле:

$$E_{so} = N_{\text{ВЕР}} / Q_{\text{ВЕР}}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{ВЕР}}$  – номинальное значение мощности насоса;  $Q_{\text{ВЕР}}$  – подача насоса, соответствующая точке максимального КПД агрегата.

Для насоса марки ЭЦВ 10-120-60  $E_{so} = 33/120 = 0,275$  кВт/м<sup>3</sup>.

В табл. 1 приведены результаты с данными замеров по фактической производительности насосных агрегатов и распределением зон энергетически эффективной работы погружного насоса марки ЭЦВ 10-120-60.

Экономичный и энергоэффективный режим работы насосов должен обеспечиваться в допустимом рабочем диапазоне изменений подачи и напора по характеристике  $Q-H$ . В ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414:2015) определены стандарты допустимых границ значений точки ВЕР для насосного оборудования. В табл. 2 показана карта удельного энергопотребления для рассматриваемого водозабора подземных вод.

Скважины, находящиеся в зеленой зоне по показателю удельного энергопотребления водозабора, работают в оптимальном режиме функционирования насоса. Эти скважины требуют минимальных денежных затрат на текущий ремонт, в итоге снижаются эксплуатационные затраты всего водозабора.

Таблица 1

Оценка подачи воды погружными насосами по требованиям  
ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414)

№ скважин	Замеры подачи воды погружными насосами за месяц, $Q$ , м <sup>3</sup> /ч						
1	119	110	111	105	106	108	119
2	75	73	73	75	73	76	75
3	85	85	84	85	86	84	85
4	80	86	80	79	74	79	80
5	130	130	131	130	130	130	130
6	96	95	95	94	98	97	96
7	75	75	75	76	75	75	75
8	130	133	132	127	120	129	130
9	119	119	119	120	119	119	119
10	70	69	70	71	70	71	70
11	129	120	128	139	130	130	129
12	105	103	104	107	105	106	105
Сумма $Q$ , м <sup>3</sup> /ч	<b>1213</b>	<b>1198</b>	<b>1202</b>	<b>1208</b>	<b>1186</b>	<b>1204</b>	<b>1213</b>

Примечание:

-  - режимы работы насоса с максимальным КПД, показатель по ВЕР;
-  - режимы работы насоса по ГОСТ, (75-100-110)% КПД;
-  - технически допустимый режим работы насоса, выходящий за пределы нормируемого по ГОСТ;
-  - аварийный режим работы, отклонение значений подачи от паспортных данных.

Таблица 2

Оценка энергоэффективной работы погружных насосов по требованиям  
ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414)

№ скважин	Удельное энергопотребление за месяц, $E_s$ , кВт/м <sup>3</sup>						
1	0,2773	0,2945	0,2919	0,3029	0,3000	0,2944	0,2773
2	0,3840	0,3945	0,3945	0,3840	0,3945	0,3789	0,3840
3	0,3529	0,3529	0,3571	0,3529	0,3488	0,3571	0,3529
4	0,3675	0,3488	0,3675	0,3722	0,3892	0,3722	0,3675
5	0,2538	0,2538	0,2519	0,2538	0,2538	0,2538	0,2538
6	0,3238	0,3272	0,3272	0,3306	0,3171	0,3204	0,3238
7	0,3840	0,3840	0,3840	0,3789	0,3840	0,3840	0,3840
8	0,2538	0,2481	0,2500	0,2598	0,2750	0,2558	0,2538
9	0,2773	0,2773	0,2773	0,2750	0,2773	0,2773	0,2773
10	0,4114	0,4174	0,4114	0,4056	0,4114	0,4056	0,4114
11	0,2558	0,2750	0,2578	0,2245	0,2538	0,2538	0,2558
12	0,3029	0,3087	0,3058	0,2972	0,3029	0,3000	0,3029
$\sum E_s$ , кВт/ч×м <sup>3</sup>	<b>0,3240</b>	<b>0,3290</b>	<b>0,3268</b>	<b>0,3248</b>	<b>0,3279</b>	<b>0,3258</b>	<b>0,3240</b>

Примечание:

-  – низкое удельное энергопотребление – энергоэффективная работа погружных насосов по требованиям ГОСТ, кВт/м<sup>3</sup>
-  – высокое удельное энергопотребление – работы погружных насосов с большими энергетическими затратами, кВт/м<sup>3</sup>

Работу насоса в энергоэффективном диапазоне от  $0,75Q_0$  до  $1,1Q_0$  можно определить, как энергоэффективный цикл работы погружного насоса в скважине на действующую

щем водозаборе. Удельное энергопотребление водозабора снижается особенно у тех скважин, которые в зеленой зоне, так как они создают наибольший вклад в гарантированный уровень денежных затрат на функционирование водозабора.

Энергозатраты за год вычисляются путем умножения потребляемой электроэнергии на усредненное время работы (8740 часов) насоса в скважине. Полученные результаты могут быть интегрированы в задачу повышения качества функционирования водозаборных сооружений,

Уменьшение производительности возникает из-за того, что реальные характеристики погружных насосов ЭЦВ существенно различаются. Они могут изменяться и из-за увеличения (снижения) притока в скважину, подъем/сработка уровней в скважине.

В табл. 3 показано отклонение удельного энергопотребления по данным замеров производительности насосов и по прогнозу подачи воды [11].

Таблица 3

Суммарная производительность водозабора подземных вод

Режимы работы насоса ЭЦВ 10-120-60	Производительность водозабора, м <sup>3</sup> /ч	Процент понижения производительности
Оптимальная (для ВЕР)	1440	-
Проектная	1420	-0,012 %
Прогноз	1294.56	-10,1 %
Фактическая	1236	-14,17

Оценка работы насосов по требованиям ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414:2015) показала, что требуется замена трёх агрегатов, работающих в нерасчётных режимах, на менее мощные (табл. 2, красная зона скважин 2, 7, 10). Установка новых насосов позволит оптимизировать производительность скважин, снизить удельные показатели электроэнергии на добычу воды в целом по водозабору и понизить эксплуатационные затраты предприятия.

Полученные зависимости по показателям энергоэффективности позволяют применять результаты исследования управления режимами работы погружных насосов на водозаборах подземных вод в других регионах нашей страны.

### Заключение.

Проведена оценка энергоэффективной работы погружных насосов, установленных в скважину для водозаборов подземных вод, по требованиям ГОСТ 33969-2016. Представлена карта энергетически эффективной эксплуатации действующего водозабора подземных вод.

Определена энергоэффективная работа центробежных насосных агрегатов в составе водозабора подземных вод. Показано распределение зон энергетически эффективной работы погружного насоса марки ЭЦВ 10-120-60 в действующей скважине водозабора.

Рассчитан наиболее экономичный режим эксплуатации погружных насосов в пределах рабочего диапазона по показателю удельного энергопотребления по каждой скважине в составе действующего водозабора.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Фисенко, В. Н.** О системе показателей энергетической эффективности насосов в системах водоснабжения и водоотведения / В. Н. Фисенко // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2018. – № 6(126). – С. 54-60.

2. **Фисенко, В. Н.** Энергетический аудит насосов в промышленных и коммунальных системах и маркировка эффективности эксплуатации: системный подход (часть 1) / В. Н. Фисенко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2021. – № 6. – С. 55-64.
3. **Фисенко, В. Н.** Энергетический аудит насосов в промышленных и коммунальных системах и маркировка эффективности эксплуатации: системный подход (часть 2) / В. Н. Фисенко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2021. – № 7. – С. 56-64.
4. **Капанский, А. А.** Ключевые направления и мировые практики повышения эффективности и надежности водоснабжения / А. А. Капанский // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. – 2024. – № 1(96). – С. 82-98.
5. **Чупин, В. Р.** Современное состояние, перспективы и пути развития систем водоснабжения и водоотведения, методы их расчета, построения и организации эксплуатации / В. Р. Чупин // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2023. – Т. 13. – № 2(45). – С. 359-368.
6. **Гнездилов, А. М.** Проблемы и перспективы развития водоснабжения новых регионов на примере Херсонской области / А. М. Гнездилов, И. В. Николенко, М. П. Рябцев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2026. – № 2. – С. 28-39.
7. **Пурусова, И. Ю.** Управленческий подход к математическому моделированию работы водозаборов подземных вод / И. Ю. Пурусова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 3(34). – С. 75-81.
8. **Пурусова, И. Ю.** Эксплуатация действующих насосных станций: учебно-методическое пособие / И. Ю. Пурусова. – Воронеж. – 2023. – С. 68.
9. **Пурусова, И. Ю.** Моделирование управления подачей воды на водозаборах из подземных источников / И. Ю. Пурусова, К. И. Чижик // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2024. – № 5(785). – С. 94-100.
10. **Щербаков, В. И.** Пути повышения производительности водозаборных сооружений подземных вод / В. И. Щербаков, И. Ю. Пурусова // Яковлевские чтения: сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева, Москва, 15...17 марта 2017 года / Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2017. – С. 248-252.
11. **Пурусова, И. Ю.** Причины снижения производительности скважинных насосов в системах водного хозяйства / И. Ю. Пурусова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 51-58.
12. **Щербаков, В. И.** Исследование работы системы водозаборная скважина – сборный водовод / В. И. Щербаков, И. Ю. Пурусова // Энергосбережение и водоподготовка. – 2017. – № 2(106). – С. 27-32.

*Поступила в редакцию 18 февраля 2026*

## EVALUATION OF ENERGY-EFFICIENT OPERATION OF SUBMERSIBLE PUMPS AT UNDERGROUND WATER INTAKES

**I. Yu. Purusova**

---

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

---

The main task of ensuring high-quality and safe water supply in our country is to provide drinking water according to the design data with a high efficiency of the water intake. It is necessary to improve the operation of underground water intakes to a large extent by optimizing the operation of submersible pumps installed in wells. The pumping units at existing

underground water intakes operate in energy-consuming modes, which reduces the overall capacity of the water intake. The article provides an assessment of the energy-efficient operation of the water intake based on the actual performance of the installed pumping units. The article also provides an assessment of the energy efficiency of submersible pumps in accordance with the requirements of the technical standard. We calculated the most economical operating mode of submersible pumps within the operating range based on the specific energy consumption for each well.

**Keywords:** groundwater water intakes; submersible pump; energy efficiency; water supply.

## REFERENCES

1. **Fisenko V. N.** *On the system of indicators of energy efficiency of pumps in water supply and sanitation systems.* Water treatment. Water treatment. Water supply. 2018. No. 6(126). Pp. 54-60. (in Russian)
2. **Fisenko V. N.** *Energy audit of pumps in industrial and municipal systems and operation efficiency labeling: a systematic approach (part 1).* Water supply and sanitary engineering. 2021. No. 6. Pp. 55-64. (in Russian)
3. **Fisenko V. N.** *Energy audit of pumps in industrial and municipal systems and operation efficiency labeling: a systematic approach (part 2).* Water supply and sanitary engineering. 2021. No. 7. Pp. 56-64. (in Russian)
4. **Kapansky A. A.** *Key Directions and Global Practices for Improving the Efficiency and Reliability of Water Supply.* Bulletin of the Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi. 2024. No. 1(96). Pp. 82-98. (in Russian)
5. **Chupin V. R.** *Current State, Prospects, and Development Paths of Water Supply and Sewerage Systems, Methods for Their Calculation, Construction, and Operation.* Newsletter of universities. Investments. Construction. Real Estate. 2023. Vol. 13. No. 2(45). Pp. 359-368. (in Russian)
6. **Gnezdilov A. M., Nikolenko I. V., Ryabtsev M. P.** *Problems and Prospects of Water Supply Development in New Regions: The Case of the Kherson Region.* Water Supply and Sanitary Engineering. 2026. No. 2. Pp. 28-39. (in Russian)
7. **Purusova I. Yu.** *Managerial approach to mathematical modeling of underground water intakes.* Housing and Municipal Infrastructure. 2025. No. 3(34). Pp. 75-81. (in Russian)
8. **Purusova I. Yu.** *Operation of Existing Pump Stations.* Educational and Methodological Guide. Electronic resource. Voronezh. 2023. Pp. 68. (in Russian)
9. **Purusova I. Yu., Chizhik K. I.** *Modeling of Water Supply Control at Water Intakes from Underground Sources.* Izvestiya of Higher Educational Institutions. Construction. 2024. No. 5(785). Pp. 94-100. (in Russian)
10. **Shcherbakov V. I., Purusova I. Yu.** *Ways to increase the productivity of underground water intake facilities.* Yakovlev Readings: Collection of Papers from the XII International Scientific and Technical Conference Dedicated to the Memory of Academician S. V. Yakovlev, Moscow, March 15...17, 2017. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Moscow: National Research Moscow State University of Civil Engineering. 2017. Pp. 248-252. (in Russian)
11. **Purusova I. Yu.** *Reasons for the decrease in the performance of submersible pumps in water management systems.* Housing and communal infrastructure. 2024. No. 4(31). Pp. 51-58. (in Russian)
12. **Shcherbakov V. I., Purusova I. Yu.** *Research of the operation of the system water intake well - collecting water conduit.* Energy Saving and Water Treatment. 2017. No. 2(106). Pp. 27-32. (in Russian)

Received 18 February 2026

**Для цитирования:**

**Пурусова, И. Ю.** Оценка энергоэффективной работы погружных насосов на водозаборах подземных вод / И. Ю. Пурусова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 1(36). – С. 61-67. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.006.

**FOR CITATION:**

**Purusova I. Yu.** *Evaluation of energy-efficient operation of submersible pumps at underground water intakes.* Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 1(36). Pp. 61-67. DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.006. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.007

УДК 541.8:628.3

## ОБРАБОТКА СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕАГЕНТОВ

С. И. Мовчан

Мовчан Сергей Иванович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Прикладная механика и робототехника», ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», Мелитополь, Российская Федерация, тел.: +7(990)33-68-42; e-mail: msi.movchan@gmail.com

В работе рассматривается важная научно-техническая проблема направленная на обеспечение рационального использования водных ресурсов за счет разработки ресурсосберегающих технологий в системах оборотного водоснабжения. Рассмотрены вопросы реагентной обработки сточных вод гальванического производства за счёт использования отработанных моющих растворов, в качестве которых применяются химические компоненты отработанных моющих растворов: поверхностно-активные вещества, едкий натрий, пирофосфат натрия, метасиликат натрия, кальцинированная сода и триполифосфат натрия в определённом соотношении к шестивалентному хрому, что обеспечивает эффективную обработку сточных вод, оптимизирует процесса обработки сточных вод в системах оборотного водоснабжения. Представлены результаты оценки предлагаемой технологии использования химических компонентов. Основным эффектом заключается в уменьшении объемов использования реагентов и образующихся при этом осадков, а также в сокращении затрат на обработку сточных вод гальванического производства. Отмечено, что использование компонентов отработанного моющего раствора увеличивает эффективность обработки сточных вод. Представлены рекомендации для повышения уровня эффективности обработки сточных вод, целесообразно заключающиеся в смешении некоторых видов сточных вод на стадии их предварительного накопления.

**Ключевые слова** сточные воды; химические компоненты; отработанные моющие растворы; поверхностно-активные вещества; едкий натрий; пирофосфат натрия; метасиликат натрия; сода кальцинированная; триполифосфат натрия.

На предприятиях водохозяйственного комплекса образуются сточные воды, в которых присутствуют вещества, химические компоненты и соединения высокого класса опасности. Попадая в водные объекты, в окружающую природную среду эти высокотоксичные вещества наносят иногда непоправимый вред. Данный вид высокотоксичных веществ находясь в водных объектах, в той или иной форме, имеет тенденцию к накоплению и, проявлению своих негативных воздействий, на протяжении длительного времени. Кроме того, эти токсические загрязнители, в том числе и синтетические вещества нового поколения, оказывают крайне негативное воздействие на экологические системы водных объектов.

Решения поставленных задач рассматриваются в перечне поручений по реализации Послания Президента РФ Федеральному Собранию (29 февраля 2024 г.), где среди ключевых направлений направленных на развитие коммунального и водохозяйственного комплекса, в том числе, отмечается: снизить к 2036 г. в два раза объёмы неочищенных сточных вод, сбрасываемых в основные водные объекты; продлить до 2030 г. реализацию Федерального проекта «Чистая вода» в целях увеличения доли населения, использующего качественную питьевую воду. Кроме того, реализация Федерального проекта РФ «Вода России», направленная на экологическое благополучие предусматривает поэтапное снижение в два раза объема неочищенных стоков, сбрасываемых в основные водные объекты.

Наиболее перспективный вариант сокращения потребления воды – использование замкнутых, оборотных, многоразовых систем водоснабжения промышленных предприятий, использующих воду и водные ресурсы в своих технологических циклах.

Постоянная тенденция, направленная на ухудшение экологической обстановки, повышение техногенной нагрузки на окружающую среду, воду и водные ресурсы приводит к изменению равновесия в природе, прежде всего экологического. Поэтому разработка новых и усовершенствование существующих технологий обработки сточных вод, с использованием реагентов, определяет актуальность выбранного направления исследований.

Одним из направлений использования реагентов, при обработке сточных вод гальванического производства промышленных предприятий, является использование ресурсосберегающих технологий. Реагенты используются, когда при обработке стоков осуществляется разделение потоков на цианосодержащие, хромсодержащие, фторсодержащие и кислото-щелочные [1].

Основной задачей, которую необходимо решать при проектировании очистных сооружений производственных сточных вод от цехов гальванопокрытий, является сведение к минимуму экологического ущерба, наносимого этими сточными водами. При этом необходимо предусмотреть утилизацию ценных компонентов сточных вод, дополнительно выделяя на отдельные потоки. Например, медьсодержащие, никельсодержащие, органиансодержащие и др. [2].

Водоотведение является необходимой системой жизнеобеспечения человека. При проектировании систем промышленного водоснабжения необходимо предусматривать наиболее рациональное использование воды, а также экономичные и надежные в действии внутренние системы водопровода, учитывающие все местные условия и особенности проектируемого здания, возможность применения индустриального метода заготовки узлов систем водопровода и поточно-скоростного производства монтажных работ, удобство и экономичность эксплуатации систем, широкое использование оборудования и деталей, изготавливаемых промышленностью, увязка с архитектурно-строительной, технологической и другими частями проекта [3].

Система водообеспечения позволяла упростить большинство технологических процессов процессы на предприятиях водохозяйственного комплекса. К таким процессам, направленным на интенсификацию процесса водоподготовки и водоочистки в системах промышленного водоснабжения, относится реагентная обработка сточных вод, определяющая уровень работы систем оборотного водоснабжения.

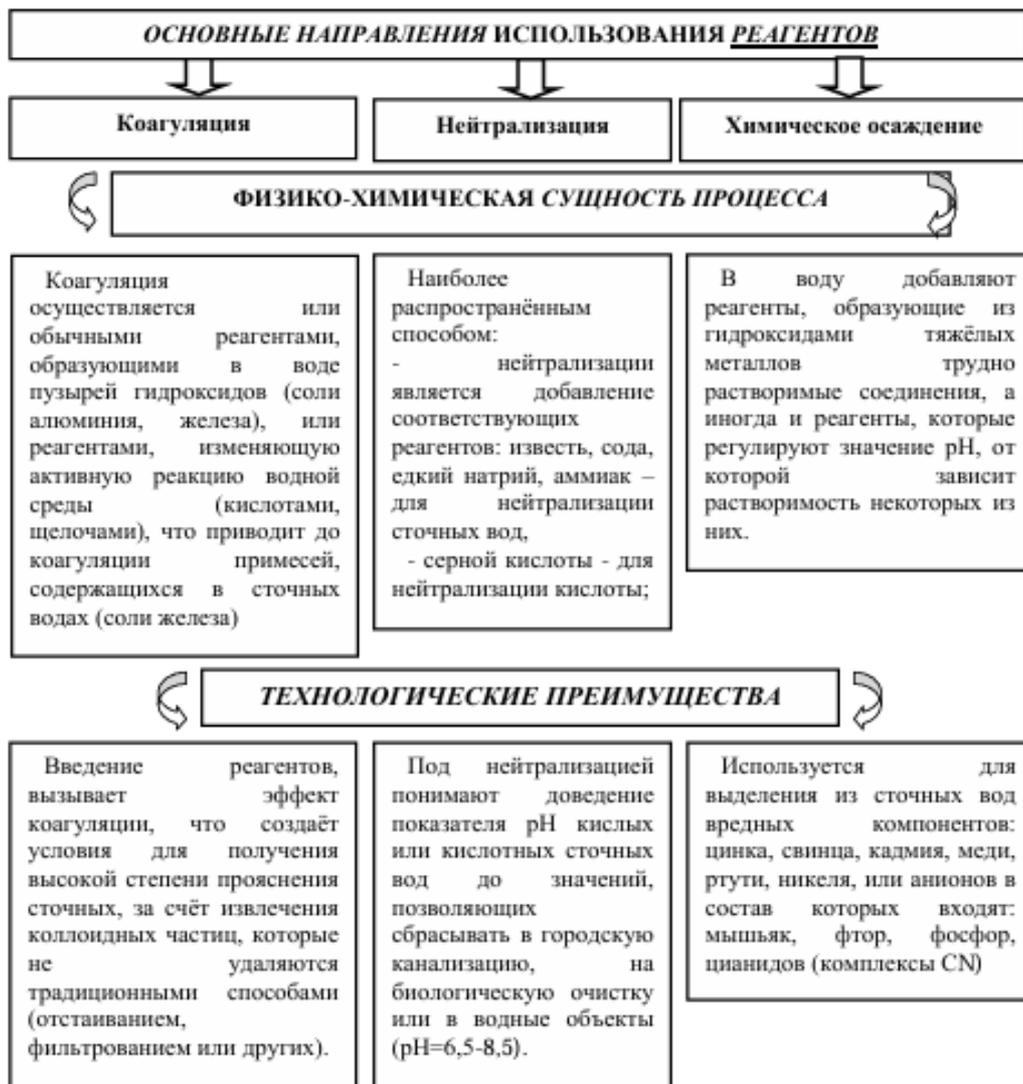
На рисунке представлены основные направления использования реагентов, основывающихся на следующих основных технологиях, коагуляция, нейтрализация и химическое осаждение, при использовании химических компонентов отработанного моющего раствора.

Для оценки эффективности использования реагентов при обработке сточных вод проведены исследования, позволяющие оптимизировать использование реагентов, при обработке сточных вод характеризующихся сложным составом и меняющимся составом загрязняющихся компонентов, на протяжении незначительного промежутка времени.

Работы и мероприятия, проводимые с использованием реагентов, сопряжены с определенными рисками для людей и окружающей среды. Поэтому, при проектировании и эксплуатации систем оборотного водоснабжения, их эксплуатации и использования реагентов, необходимо минимизировать риски, повысить эффективность и надёжность промышленных предприятий водохозяйственного комплекса [4...6].

Спектр использования реагентов, при обработке сточных вод гальванических производств достаточно широк. Использование в качестве реагента различных химических компонентов, элементов и соединений является важной технической задачей, что позволяет производить обработку сточных вод предприятий машиностроительного комплекса,

приборостроения, предприятий производства защитных покрытий, печатных плат и т. п. [7...9].



Основные направления использования реагентов

Цель исследования состоит в дальнейшем развитии теоретических основ рациональной эксплуатации систем оборотного водоснабжения за счёт эффективной обработки сточных вод реагентами.

Главная задача состоит в стабилизации обработки стоков на высоком уровне и дальнейшей оптимизацией компонентов, используемых реагентов (количественного состава, последовательности их введения).

Исследования осуществляются в несколько этапов:

- ✓ во-первых, сбор исходных данных, используемых для разработки технологии очистки и принятия инженерных решений;
- ✓ во-вторых, экспериментальные исследования, основывающиеся на химическом анализе по разработанным методикам, анализе методов и оптимальных параметров обработки и определении их эффективности;
- ✓ в-третьих, обработка полученных данных, позволяющих выявить различные специфические технические параметры, которые используются при обработке статистических данных и компьютерных программ.

Использование химических компонентов в определённом соотношении к  $Cr^{6+}$  используется в качестве реагентной обработки сточных вод, от загрязнений стоков ионами тяжёлых металлов, взвешенными веществами, механическими примесями, маслами и нефтепродуктами, образующихся на предприятиях машиностроительного комплекса, обработки металлов резанием, ремонтных предприятиях и др. аналогичном производстве.

Наиболее близким, к данному решению, является использования коагулянтов на основе солей железа и алюминия, отходов титаномагниевого производства и др. Например, при коагуляционном способе очистки, для очистки сточных вод гальванического производства использовали смесь сульфата двухвалентного железа (отходы производства коагулянта) и древесной летучей золы отходы производства. В данной смеси сульфат железа (II) является восстановителем для хрома (VI), который переходит в менее вредную для окружающей среды трёхвалентную форму, а летучая древесная зола служит нейтрализующим и коагулирующим агентом. Способ позволяет также удалить до 97,5 % меди и 99,9 % цинка. Концентрация хрома (VI) снизилась в 475 раз (в четыре раза ниже максимально значения), что подтверждает целесообразность применения данных отходов для очистки сточных вод [10].

Увеличения степени очистки сточных вод, достигается за счёт снижения расходов электрической энергии, что предотвращает пассивацию электродной системы, оптимизация систему обработки сточных вод, путём упорядочивания водных потоков и расширения функциональных возможностей водоочистного оборудования и т.п.

Для реализации процессов обработки сточных вод, с использованием реагентов, разработан широкий спектр, использования различных растворов, химических компонентов и др. соединений, которые позволяют обрабатывать сточные воды учитывая их многообразие и широкий спектр загрязнений.

По результатам лабораторных исследований разработаны и получены данные, позволяющие определить использование реагентов в процессах обработки сточных вод промышленных предприятий, по следующим направлениям:

- ✓ определить рациональную дозу обработки сточных вод на основе оптимального соотношения химических компонентов отработанного моющего раствора.
- ✓ оптимизировать рациональную дозу обработки сточных вод на основе оптимальной дозу химических компонентов отработанного моющего раствора.
- ✓ увеличить эффективность обработки сточных вод по основным и сопутствующим загрязнителям, с использованием синтетических моющих средств.
- ✓ определить показатели эффективности обработки сточных вод от количественного соотношения химических компонентов к  $Cr^{6+}$  весовой массовой части [11, 12].

Показатели эффективности обработки сточных вод в зависимости от количественного соотношения химических компонентов к  $Cr^{6+}$  весовой массовой части (мас. ч), рассмотрены в нескольких вариантах для различных условий в зависимости от количественного соотношения химических компонентов к  $Cr^{6+}$  весовой массовой части (мас. ч), что позволяет оптимизировать массовую часть в пределах определённого количественного состава каждого химического компонента. [12]. В таблице представлен расчет массовой части химических компонентов и времени обработки сточных вод, из которого видно, что в процессе активации поверхности стальных электродов увеличивается скорость транспортирования железосодержащего коагулянта в хромсодержащие сточные воды.

Результаты лабораторных исследований представлены для пяти повторностей. Химические соединения (шесть компонентов) отработанного моющего раствора в соотношении к шестивалентному хрому:

$$Cr^{6+} : ПАВ : NaOH : Na_2SiO_3 : Na_2CO_3 : Na_5P_3O_{10} : Na_4P_2O_7 = \\ 1 : (0,15 \dots 1,5) : (0,05 \dots 0,5) : (0,15 \dots 0,5) : (0,05 \dots 0,5) : (0,05 \dots 0,5) : (0,10 \dots 0,15).$$

Показатели эффективности обработки сточных вод в зависимости от количественного соотношения химических компонентов к  $Cr^{6+}$  весовой массовой части

Химические компоненты	Массовая часть	*Время обработки, сек	**Эффективность обработки				
			Повторности				
поверхностно-активные вещества (ПАВ)	0,15...0,5	30	96,25	97,25	94,25	95,15	98,25
	0,15	60	96,35	97,5	95,35	96,25	98,75
		90	97,25	98,25	96,45	97,35	99,15
		120	97,75	98,75	97,65	98,45	99,25
едкий натрий (NaOH)	0,05...0,5	30	94,15	96,30	93,25	95,25	98,25
	0,05	60	95,25	97,45	94,65	96,35	98,75
		90	96,5	98,25	95,45	97,45	99,5
		120	96,75	99,75	97,75	98,65	98,75
пирофосфат натрия ( $Na_4P_2O_7$ )	0,15...0,5	30	96,25	97,0	95,25	94,15	98,25
	0,15	60	96,35	97,5	96,35	95,25	98,75
		90	97,45	98,25	97,45	96,45	99,5
		120	97,75	98,75	98,85	97,55	99,25
метасиликат натрия ( $Na_2SiO_3$ )	0,15...0,5	30	95,25	95,25	98,25	95,15	98,25
	0,15	60	95,35	96,15	98,75	96,35	98,75
		90	96,55	97,25	98,5	97,45	98,5
		120	96,75	98,75	98,75	98,65	98,75
сода кальцинированная ( $Na_2CO_3$ )	0,05...0,5	30	96,25	97,35	98,25	95,25	98,25
	0,05	60	96,35	97,45	98,75	96,45	98,75
		90	97,25	98,25	99,25	97,65	99,35
		120	97,75	98,75	99,25	98,85	99,25
триполифосфат натрия ( $Na_5P_3O_{10}$ )	0,05...0,5	30	93,25	96,15	95,25	94,15	98,25
	0,05	60	94,45	96,25	96,45	96,35	98,75
		90	95,65	97,45	97,55	97,45	98,45
		120	96,75	98,75	97,75	98,75	98,75

Примечание. \* - время обработки сточных вод указано минимальное (*min*). \*\* - эффективность обработки приведена средняя величина.

Применяемые добавки позволяют получить более концентрированный раствор коагулянта, а также более дисперсные пузырьки газовой фазы, что расширяет диапазон сточных вод, которые обрабатываются данными химическими компонентами, входящими в состав отработанного моющего раствора.

При интенсификации процесса смешения железосодержащего коагулянта со сточной водой ускоряются окислительно-восстановительная реакция, способствующих формированию флотокомплексов и эффективная флотация гидроксидов, повышая степень очистки сточных вод.

Таким образом, проведенные и полученные результаты исследования позволяют оптимизировать работу систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий, за счёт рационального использования воды и водных ресурсов, определяющих надёжную и эффективную работу всего комплекса оборудования. Использование в качестве реагента химических компонентов, в определённом соотношении к шестивалентному хрому, позволяет получить соответствующие параметры обработки сточных вод гальванического производства, характерные для данного технологического решения.

### Заключение.

В ходе исследований изучен и определён количественный и качественный состав отработанного моющего раствора, в определённом соотношении к шестивалентному хрому,

когда изменение количественного соотношения ограничено верхним и нижним пределами.

Рассматриваемая технология позволит повысить степень очистки от ионов тяжёлых металлов, снизить затраты на обеззараживание отработанных моющих растворов, экономить реактивы, необходимые для повышения эффективности флотации, рационально организовать ведение водного хозяйства.

Метод очистки способствует получению малого объёма осадка, примерно в 2,0...2,5 раза меньше по сравнению с аналогичными способами, т.к. превалирует извлечение гидроксидов процессом флотации.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Урецкий, Е. А.** Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий: монография / Е. А. Урецкий. Брест: Издательство БГТУ, 2007. – 396 с.

2. **Урецкий, Е. А.** Оптимизация существующих и разработка новых ресурсосберегающих технологий в водном хозяйстве предприятий приборо- и машиностроения: монография / Е. А. Урецкий, Е. С. Гогина, В. В. Мороз. – Москва: Издательство АСВ, 2023. – 620 с.

3. **Попов, О. Н.** Системы водоснабжения и водоотведения: учебное пособие в 2-х ч. / О. Н. Попов, А. Н. Грибков. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 127 с.

4. **Лобанов, А. А.** Реагентная обработка воды в системе оборотного водоснабжения / А. А. Лобанов // Гидравлика, гидрология, водные ресурсы. Приборостроительство. – 2011. – № 1. – С. 87-88.

5. **Тен, К. И.** Обработка воды реагентным способом в системах оборотного водоснабжения / К. И. Тен // Форум молодых учёных. – 2017. – № 1(5). – С. 595-599.

6. **Пинчук, О. А.** Комплексонатная водоподготовка в малых водооборотных системах охлаждения / О. А. Пинчук, А. Ф. Костко, С. В. Караван // Вестник Международной академии холода «Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение». – 2020. – № 3. – С. 3-9.

7. **Ramesh, B.** Influence of dithiocarbamate on metal complex and thin film depositions / B. Ramesh, P. Venkatesh, A. A. Jabbar // International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 3. – No. 8. – Pp. 15301-15309. – DOI: 10.15680/ijirset.2014.0308033.

8. **Ly, N.** Interaction between diethyldithiocarbamate and Cu (II) on gold in non-cyanide wastewater / N. Ly, T. Nguyen, K.-D. Zoh, S.-W. Joo // Sensors. – 2017. – Vol. 17. – No. 11. – Pp. 1-12.

9. **Xiao, J.** The flotation behavior and adsorption mechanism of O-isopropyl-S-[2-(hydroxyimino)propyl] dithiocarbonate ester to chalcopyrite / J. Xiao, G. Liu, H. Zhong, Y. Huang, Z. Cao // Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. – 2017. – Vol. 71. – Pp. 38-46. – DOI: 10.1016/j.jtice.2016.12.022.

10. **Orescanin, Visnja.** Purification of electroplating wastewaters utilizing by-product ferrous sulphate and wood fly ash / Visnja Orescanin, Luka Mikelic, Stipe Lulic et al // J. Environ science and Health. – 2024. – Vol. – 39. – № 9. – Pp. 2437-2446.

11. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025624805 RU. База данных показателей эффективности обработки сточных вод от количественного соотношения химических компонентов к  $\text{Cr}^{6+}$  весовой массовой части / С. И. Мовчан // Дата регистрации 30.10.2025. Номер заявки 2025624281. Дата поступления 16.10.2025. Дата публикации 30.10.2025. Бюл. № 11.

12. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025626224 RU. База данных показателей эффективности электрохимической очистки сточных вод при соотношении химического раствора электролитов (шесть компонентов) к  $\text{Cr}^{+6}$  / С. И. Мовчан // Дата регистрации 17.12.2025. Номер заявки № 2025625914. Дата поступления 05.12.2025. Дата публикации 17.12.2025. Бюл. № 12.

Поступила в редакцию 15 февраля 2026

## TREATMENT OF WASTEWATER FROM GALVANIC PRODUCTION OF INDUSTRIAL ENTERPRISES USING REAGENTS

**S. I. Movchan**

---

Sergey Ivanovich Movchan, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Applied Mechanics and Robotics, Melitopol State University, Melitopol, Russia, tel.: +7(990)33-68-42; e-mail: msi.movchan@gmail.com

---

This paper examines the important scientific and technical problem of ensuring the rational use of water resources through the development of resource-saving recirculating water supply systems. The article examines the issues of reagent treatment of wastewater from galvanic production through the use of spent cleaning solutions, which are chemical components of spent cleaning solutions: surfactants, caustic soda, sodium pyrophosphate, sodium metasilicate, soda ash and sodium tripolyphosphate in a certain ratio to hexavalent chromium, which ensures effective treatment of wastewater, optimizes the process of wastewater treatment in water recycling systems. I present the results of an evaluation of the proposed technology using chemical components. The main effect is a reduction in the use of reagents and the resulting sludge, as well as a reduction in the cost of treating wastewater from galvanic production. It is noted that the use of components from waste cleaning solutions increases the efficiency of wastewater treatment. I also present some recommendations for improving the efficiency of wastewater treatment, which preferably involve mixing certain types of wastewater at the pre-accumulation stage.

**Keywords:** wastewater; chemical components; waste cleaning solutions; surfactants, caustic soda; sodium pyrophosphate; sodium metasilicate; soda ash; sodium tripolyphosphate.

### REFERENCES

1. **Uretsky E. A.** *Resource-saving technologies in water management of industrial enterprises: Monograph*. Brest, Publishing house of BSTU. 2007. 396 p. (in Russian)
2. **Uretsky E. A., Gogina E. S., Moroz V. V.** *Optimization of existing and development of new resource-saving technologies in water management of instrument-making and mechanical engineering enterprises, Monograph*. Moscow, Publishing house of ASV. 2023. 620 p. (in Russian)
3. **Popov O. N.** *Water supply and sanitation systems, a textbook: in 2 parts*. Tambov, Publishing center of FSBEI HE "TSTU". 2023. 127 p. (in Russian)
4. **Lobanov A. A.** *Reagent treatment of water in the water recycling system*. Hydraulics, hydrology, water resources. Instrumentation. 2011. No. 1. Pp. 87-88. (in Russian)
5. **Ten K. I.** *Reagent water treatment in water recycling systems*. Forum of young scientists, 2017. No. 1(5). Pp. 595-599. (in Russian)
6. **Pinchuk O. A., Kostko A. F., Karavan S. V.** *Complexonate water treatment in small water circulation cooling systems*. Bulletin of the International Academy of Refrigeration "Power, Metallurgical and Chemical Engineering". 2020. No. 3. Pp. 3-9. (in Russian)

7. **Ramesh B., Venkatesh P., Jabbar A. A.** *Influence of dithiocarbamate on metal complex and thin film depositions.* International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology. 2014. Vol. 3. No. 8. Pp. 15301-15309. DOI: 10.15680/ijirset.2014.0308033.
8. **Ly N., Nguyen T., Zoh K.-D., Joo S.-W.** *Interaction between diethyldithiocarbamate and Cu (II) on gold in non-cyanide wastewater.* Sensors. 2017. Vol. 17. No. 11. Pp. 1-12.
9. **Xiao J.** The flotation behavior and adsorption mechanism of O-isopropyl-S-[2-(hydroxyimino)propyl] dithiocarbonate ester to chalcopyrite. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2017. Vol. 71. Pp. 38-46. DOI: 10.1016/j.jtice.2016.12.022.
10. **Orescanin Visnja, Mikelic Luka, Lulic Stipe et al.** *Purification of electroplating wastewaters utilizing by-product ferrous sulphate and wood fly ash.* J. Environ science and Health. 2024. Vol. 39. No. 9. Pp. 2437-2446.
11. **Database state registration certificate No. 2025624805 RU.** Database of Wastewater Treatment Performance Indicators Dependent on the Quantitative Ratio of Chemical Components to Cr<sup>6+</sup> by Weight. Date of registration 10/30/2025. Application number 2025624281. Date of receipt 10/16/2025. Date of publication 10/30/2025. Bulletin No. 11. (in Russian)
12. **Certificate of state registration of the database No. 2025626224 RU.** Database of Performance Indicators of Electrochemical Wastewater Treatment with a Ratio of a Chemical Solution of Electrolytes (six components) to Cr+6. Date of registration 12/17/2025. Application number 2025625914. Date of receipt 12/05/2025. Date of publication 12/17/2025. Bulletin No. 12. (in Russian)

*Received 15 February 2026*

**Для цитирования:**

**Мовчан, С. И.** Обработка сточных вод гальванического производства промышленных предприятий с использованием реагентов / С. И. Мовчан // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 1(36). – С. 68-75. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.007.

**FOR CITATION:**

**Movchan S. I.** *Treatment of wastewater from galvanic production of industrial enterprises using reagents.* Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 1(36). Pp. 68-75. DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.007. (in Russian)

---

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ,  
РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО**  

---

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

---

DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.008

УДК 726.03

**РУССКО-ВИЗАНТИЙСКИЙ СТИЛЬ В САМАРСКОЙ АРХИТЕКТУРЕ**

**Д. В. Литвинов, Н. А. Орлова, Н. А. Косенкова**

---

Литвинов Денис Владимирович, канд. архитектуры, профессор кафедры реконструкция и реставрация архитектурного наследия, ФГБОУ ВО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет», Самара, Российская Федерация, тел.: +7(846)340-02-36; e-mail: litvinov-dv@mail.ru

Орлова Наталья Александровна, доцент кафедры реконструкция и реставрация архитектурного наследия, ФГБОУ ВО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет», Самара, Российская Федерация, тел.: +7(846)340-02-36; e-mail: pochto@yandex.ru

Косенкова Наталья Алексеевна, канд. архитектура, доцент кафедры реконструкция и реставрация архитектурного наследия, ФГБОУ ВО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет», Самара, Российская Федерация, тел.: +7(846)340-02-36; e-mail: kosenkovana@mail.ru

---

Статья посвящена исследованию «русско-византийского стиля» в архитектурном наследии Самарской области. Внимание уделяется историческому контексту возникновения и развития стиля его связи с общероссийскими архитектурными тенденциями и влиянию местных градостроительных особенностей. Кратко рассматриваются исторические аспекты возникновения «русско-византийского стиля» в отечественной архитектуре. Проводится анализ Свято-Николаевского храма Самарского Николаевского мужского монастыря, храма во имя Сретения Господня Самарский Иверский женского монастыря, Вознесенского собора Сызранского Вознесенского мужского монастыря, церкви во имя Святой Великомученицы Варвары, г. Тольятти. В основу исследования легли чертежи образцовых проектов церквей, которые были составлены архитектором К.А. Тоном и рекомендованы в качестве «образцовых для использования и подражания». Делается акцент на архитектурные элементы, характерные для рассматриваемого стиля: формы куполов, декоративное оформление фасадов, планировочные решения и т.д. Исследование направлено на осмысление самарской интерпретации «русско-византийского стиля», его роли в формировании стилистического облика архитектуры и сохранении культурной идентичности региона.

**Ключевые слова:** русско-византийский стиль; храмовое строительство; образцовые проекты церквей; самарские монастыри и храмы.

Исследование «русско-византийского стиля» в самарской архитектуре является важным шагом к пониманию культурной идентичности региона и его исторического контекста. Этот стиль, будучи ярким проявлением эклектики и национально-романтических тенденций в архитектуре Российской империи, оставил заметный след в стилистическом облике г. Самары. Цель исследования направлена на комплексное изучение и осмысление роли «русско-византийского стиля», выделение его характерных особенностей и влияния на формирование архитектурного облика Самары. Для реализации поставленной цели были сформулированы и выполнены следующие задачи: идентификация архитектурных объектов Самары, демонстрирующих стилистические признаки «русско-византийского стиля» (преимущественно культовые сооружения), проведение анализа выявленных архитектурных примеров, выделение архитектурных особенностей, определение исторического

контекста, влияние местных условий на сохранение и трансформацию стиля в архитектуре Самары.

Исследование «русско-византийского стиля» в самарской архитектуре сочетает различные методы и принципы такие как: архивные исследования, сравнительно-исторический анализ, иконографический, искусствоведческий, социокультурный метод.

Предметом исследования выступают храмы в самарской архитектуре, которые являются яркими представителями «русско-византийского стиля», с анализом их архитектурных особенностей, истории строительства и культурного значения. Объектом исследования является влияние и проявление византийских архитектурных традиций и их переосмысления в контексте русского зодчества на территории Самарской области.

Первые работы, посвященные русской архитектуре середины XIX...начала XX века, появились в 1950-х годах. В них национальное направление, в частности стиль К.А. Тона, часто оценивался негативно. С 1970-х годов начался пересмотр этих оценок. Искусствоведы, такие как Е.И. Кириченко и В.Г. Лисовский, стали исследовать связь «русско-византийского стиля» с государственностью и официальным православием. Т. А. Славина посвятила свои работы изучению биографии К. А. Тона. В постсоветский период (1990-2000-е годы) исследователи, Е. А. Борисова, Б. М. Кириков и другие, на основе заложенных исследований переосмыслили подход к изучению «русско-византийского стиля» и творчеству Тона. Это позволило преодолеть ранее существовавшие предвзятые оценки.

Во второй четверти XIX в. в России архитектура храмов начинает развиваться в новом национальном направлении в «русско-византийский стиль», который становится первым национальным стилем, в нем соединялись элементы византийской и древнерусской архитектуры, а также использовались композиционные приемы классицизма [1]. В период с 1830 по 1910 годы храмы занимали центральное место в архитектуре России, поскольку именно им отводилась роль полного выражения народной национальной идеи. Это обстоятельство выдвигало их в число ведущих архитектурных объектов того времени.

Задуманный императором Николаем I (1825...1855) как монумент в честь победы над Наполеоном, храм Христа Спасителя в Москве (архитектор К. А. Тон, 1839...1883) в «русско-византийском стиле» стал архитектурным манифестом российской государственности и памятником русскому народу [2]. Исторический опыт, включающий осмысление последствий Французской революции, Отечественной войны 1812 года и восстания декабристов, послужил отправной точкой для переоценки устоявшейся иерархии ценностей в России в начале XIX века. Центральное место среди наиболее острых и требующих незамедлительного решения вопросов заняла проблема отношения к народу. Понятия «народ» и «нация» приобрели статус ключевых в общественном сознании XIX столетия [2]. Храм Христа Спасителя сыграл ключевую роль в формировании национального стиля русской культовой архитектуры. Его значение определяется глубиной заложенного в нем смысла. Возведенный по обету Александра I, данному в дни французской оккупации, он стал первым в России национальным храмом-памятником и храмом-музеем. Строительство, начатое при Александре I, продолжилось при Николае I [2]. «Русско-византийский стиль» представлял собой синтез классических композиционных принципов, ещё не утративших актуальности, и архитектурных форм, приёмов и декоративных элементов древнерусского зодчества. В тот период он приобрёл статус официального стиля в России, пользуясь прямой поддержкой монарха [3]. Император Николай I, хотя и отдавал предпочтение строгим академическим формам, активно способствовал развитию национальных сюжетов в искусстве. «Русско-византийский стиль» воспринимался им как наиболее аутентичный и соответствующий духу православия, с его монументальностью, обилием декора, характерными куполами наполненные торжественностью и красотой.

Под руководством академика архитектуры, профессора К. А. Тона, группа российских зодчих разработала «примерные проекты» храмов в «русско-византийском стиле» для строительства по всей Российской империи. Николай I своим Указом рекомендовал

эти проекты как образцы национальной русской архитектуры [3]. Благодаря этим типовым решениям, потребность в строительстве церквей в провинции удовлетворялась без необходимости привлекать архитекторов. Достаточный уровень технических знаний и опыта позволял строительным артелям возводить храмы по образцам нужного объема, отвечающих требованиям заказчиков. Особое предпочтение отдавалось пятиглавым соборам [4].

Проникновение «русско-византийского стиля» в самарскую храмовую архитектуру связано с общим стремлением к возрождению и укреплению православных традиций в России в XIX веке. Исторически сложилось так, что Поволжье было одним из ключевых направлений освоения и христианизации русских земель. Монастыри, основанные здесь, имели огромное духовно-нравственное, просветительное, хозяйственно-экономическое и военно-оборонительное значение [5]. В XIX веке они становятся оплотом государственности, центрами религиозно-нравственного воспитания, христианского просвещения и благотворительности. При монастырях существовали школы и типографии, велось летописание, огромных высот достигли живопись и архитектура [5].

*Самарский Николаевский мужской монастырь г. Самара* (рис. 1... рис. 3), оставил яркий след в истории региона, просуществовав с 1860 по 1930 гг. Этот период охватывает как годы расцвета обители, так и трагические события.



Рис. 1. Самарский Николаевский мужской монастырь [5]



Рис. 2. Свято-Николаевская церковь самарского Николаевского мужского монастыря [5]

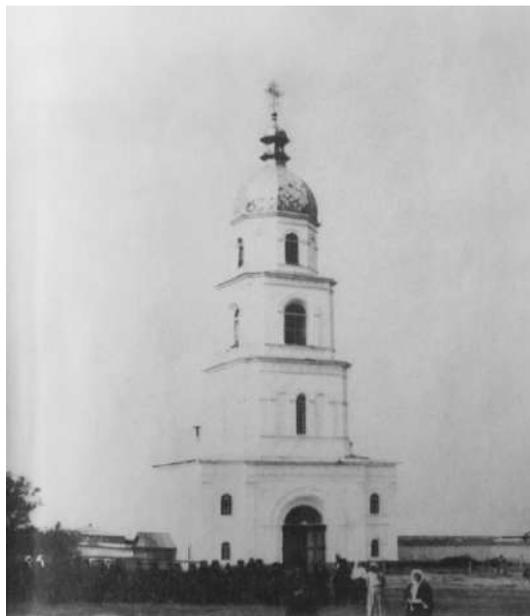


Рис. 3. Многоярусная колокольня самарского Николаевского мужского монастыря [5]

Официальное открытие Николаевского мужского общежительного монастыря состоялось 1 ноября 1863 г. Располагалась обитель на берегу р. Волги и занимала площадь от ул. Полевой до ул. Осипенко. В монастыре имелось три храма. Каменный однопрестольный во имя святителя Николая Чудотворца, построенный в 1860 г. в «русско-византийском стиле» и освященный в 1861 г. Храм был увенчан пятью шлемовидными главами, из которых средний значительно крупнее других, что придавало всему объему зданию единство и красоту. Круглая стена средней главы лежала на 8-гранном основании. Остальные главы находились на выходящих между выступами углах и имели форму восьмиугольных башен. Стиль куполов соответствовал общему характеру здания, сужаясь вверху, подобно главам всех русских церквей. При храме имелась ярусная колокольня. В 1901 г. в связи с ветхостью храм был упразднен и вместо него в 1909 г. построен трехпрестольный новый в «византийском стиле». Строительство его велось сначала самарским арх. Ф.П. Засухиным, а затем под наблюдением самарского арх. А.А. Щербачёва [5]. После Октябрьской революции 1917 г. на основании Декрета СНК РСФСР «Об отделении церкви от государства», всё имущество монастыря – как движимое, так и недвижимое – перешло в ведение местных органов советской власти. В феврале 1930 г. монастырь был закрыт постановлением Средневолжского крайисполкома. Храмы его переданы заводу № 42 под клуб. Большинство строений, а затем и храмов, было разрушено. Кирпич их использовался для строительства фабрики-кухни завода им. Масленникова и жилых домов по ул. Ново-Садовой [5].

*Самарский Иверский женский монастырь г. Самара.* Монастырь основан в декабре 1850 г. как женская община. Изначально жители Самары планировали основать женскую общину на улице Мечетной (ныне Самарская). Однако из-за отсутствия воды и удаленности от Волги было принято решение перенести строительство обители вниз по улице Оренбургской (ныне Вилоновская). Новое место, расположенное на склоне крутого волжского берега и считавшееся загородным, было пожертвовано самарскими купцами И.Н. Синягиным, М.Н. Назаровым и др. В декабре 1850 года на новом месте возвели деревянную часовню во имя Казанской иконы Божией Матери и восемь келий вокруг нее. Так сформировалась община, которая в 1852 году получила собственного священника, а затем избрала настоятельницей Марию Янову. Спустя десять лет, 21 августа 1860 года, указом Святейшего Синода община была преобразована в женский общежительный монастырь. Настоятельница Маргарита (М. Янова) получила сан игуменьи [5]. В 1858 году в обители началось строительство трехпрестольного каменного холодного храма во имя Сретения

Господня с двумя приделами: во имя святых апостолов Петра и Павла и во имя преподобного Сергия Радонежского (рис. 4... рис. 7).



Рис. 4. Общий вид на монастырь URL: <https://sobory.ru/photo/461611>

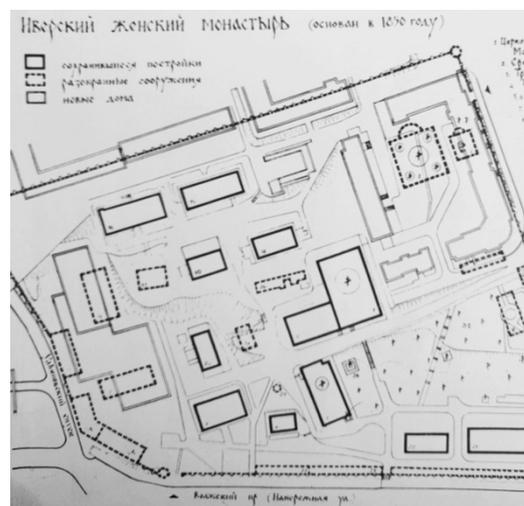


Рис. 5. Схема план монастыря [7]



Рис. 6. Вид на храм с юго-восточной стороны



Рис. 7. Женский монастырь вид с р. Волга [7]

Проект для постройки храма, вместимость до 1500 человек с колокольной, был составлен губернским архитектором К. Г. Макером. Он имел вид монументального сооружения в форме креста, со сводами внутри на 6 колоннах, и воплощал в себе черты «тоновской» архитектуры [7]. В основу проекта храма легли чертежи, опубликованные в гравированном альбоме образцовых проектов церквей, который был составлен арх. К.А. Тоном и рекомендован в качестве «образцовых для использования и подражания». Это был первый в Самаре храм в «русско-византийском стиле», идеологом которого был император Николай I [8].

При рассмотрении плана храма в Санкт-Петербурге в «Главном управлении путей сообщения и публичных зданий», проект постройки самого храма был одобрен, но изменен проект колокольной в сторону уменьшения высоты. 17 сентября 1858 г. Преосвященным Феофилом храм был заложен и наречен по желанию благотворителей во имя Сретения Господня с двумя приделами: северным – во имя преподобного Сергия Радонежского, южным - во имя Первоверховных Апостолов Петра и Павла. Каменная кладка храма была закончена уже через 3 года, весной 1862 г. водружены кресты на его 5 главах [7]. Крыша и главы храма обиты железом, выкрашенным зеленой краской. Длинной в 40 м, шириной – до 30 м и высотой – за 40 м, он имел 3 входа; особенно величественен был западный вход, имевший 17 ступеней. Иконостасы храма - резные, иконы для них написаны иконописцем Н.М. Сафоновым в селе Палех Владимирской губернии.

Стройная, одноглавая колокольная по первоначальному проекту должна была быть воздвигнута около Сретенского храма, но позже месторасположение было изменено и колокольная была заложена у монастырских ворот по улице Саратовской (ныне ул. Фрунзе) [9]. В 1881 г. колокольная высотой в 30 сажень (около 64 м) была построена, на ней воздвигнут позолоченный крест и пожертвованный благотворителями 500 пудовый (8-тонный) колокол. На втором ярусе колокольной освятили храм во имя Святителя и Чудотворца Николая. Храм был 6х6 сажень (12,8 × 12,8 м), вместимостью до 50 человек, в храм вела чугунная лестница. Иконостас – одноярусный с позолоченными колоннами и резьбой. Силуэт колокольной, напоминал устремленную к небесам свечу и считался символом дореволюционной Самары [8].

В 1925 г. монастырь был закрыт. Его территорию заняли жилые дома работников Жигулевского пивоваренного завода и Самарской ГРЭС, превратив ее в так называемый «рабочий городок». В 1925 г. закрыли Иверскую церковь, а в 1929 г. еще три храма. В 1930 г. была разобрана колокольная и другие монастырские строения, снята ограда, разорены склепы и могилы. Оставшиеся постройки были приспособлены для размещения различных организаций. Возрождение Иверской обители началось с регистрации общины Иверского монастыря 6 декабря 1991 г. [7].

*Сызранский Вознесенский мужской монастырь г. Сызрань.* Основание Вознесенского монастыря связано с именем преподобного Афанасия, который в 1680 г. получил благословение на строительство обители. С тех пор монастырь пережил множество испытаний, включая пожары и периоды запустения, но каждый раз возрождался, сохраняя свою духовную силу. В советское время обитель была закрыта, но в 1991 г. вновь открыла свои двери для верующих. В 1852 г. на территории Вознесенского мужского монастыря был возведен летний Вознесенский собор, построенный по образцовому проекту К. А. Тона (рис. 8... рис. 9).



Рис. 8. Вид на храм с северо-западной стороны [10]

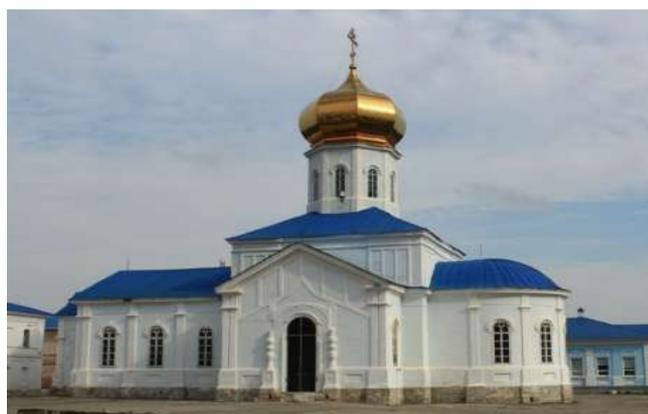


Рис. 9. Современное состояние храма (фото 2020 г.)

Проект храма был разработан сызранским арх. А.И. Бенземаном. Собор венчали пять глав, покрытых белой жезью. Главный купол украшал позолоченный крест, тогда как малые купола несли деревянные кресты, обшитые железом. При храме имелась колокольня. Внутри храма и алтаря стены были расписаны масляными красками. В 1894 г. был устроен пятиярусный иконостас из липового дерева столярной работы [5]. Храм построили из кирпича на цоколе из белого камня, после чего оштукатурили. Благодаря пристройкам ко всем сторонам центрального квадратного четверика – с запада прямоугольной трапезной, с востока полукруглой апсидой, а с севера и юга тамбурам с высокими крыльцами – в плане здание приобрело форму латинского креста [10]. Главный объем с четырехскатной крышей увенчивали пять куполов на восьмигранных барабанах, среди которых центральный был самым большим и световым. Стены четверика, апсиды, трапезной и прямоугольных сеней пронизаны крупными арочными окнами. Декор Вознесенского собора в основном состоит из пилястр, размещенных в межконных простенках и на углах, которые тянутся на всю высоту фасада, килевидных сандриков над арками окон, изящного профилированного карниза под ними, а также множества филенок, подчеркивающих гладкость фасадов: вертикальных и горизонтальных, как поодиночке, так и в группах. Ха-

ракетные для древнерусской архитектуры живописные элементы, такие как крыльца на столбах из кубышек, здесь кажутся сухими и формальными, с явным воздействием классицизма [10].

*Церковь во имя Святой Великомученицы Варвары, г. Тольятти.* Церковь была построена в 1846 г. помещиком Н.Ф. Бахметевым в память об умершей жене Варваре. Изначально церковь так и именовалась – Варваринской. В середине 30-х гг. XX века храм был закрыт. Возвращен церкви в 1989 г. Освящен в честь Благовещения Пресвятой Богородицы (рис. 10... рис. 11).



Рис. 10. Вид на западный фасад храма [11]

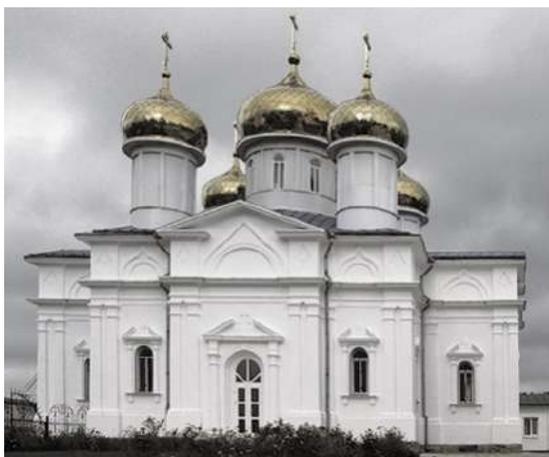


Рис. 11. Современное состояние храма (фото 2020 г.)

Храм выполнен из красного кирпича, имеет четыре столпа, пять глав и центрическую композицию. В плане архитектурные элементы – паперть, алтарь, а также северный и южный ризалиты – выстраиваются в форме греческого креста. Внутренне пространство храма имеет уникальную систему деревянных перекрытий в виде сводов. Конструкцию сводов составляют деревянные кружала, образующие каркас, и сплошная дощатая обрешетка, оштукатуренная по дроби и расписанная в живописной манере. Своды опираются на периметр наружных несущих стен, внутренние столпы и на систему подпружных полуциркулярных арок. Средокрестие перекрыто полусферическим куполом на парусах. Рукава креста перекрыты вытянутыми в поперечном направлении сомкнутыми лотковыми сводами, а угловые пространства храма - квадратными в плане парусными сводами. Алтарь и притвор имеют плоское деревянное перекрытие по деревянным балкам, оштукатуренное по дроби [11]. В объемно-пространственной композиции, пропорциях и орнаментальной обработке сочетаются элементы «русского барокко», «русского классицизма» и «русско-византийского стиля», типичного для 1840-х годов XIX столетия. По вертикали

фасады имеют четырехчастное членение: на цоколь, основной объем и аттик. Над северным и южным ризалитами, объемами алтаря и притвора аттик увенчан разорванными треугольными фронтонами. Профилированные карнизы, выделяющие аттик, выполнены из дерева. На фасадах северного и южного ризалитов в аттике под фронтонами расположены полуциркульные люкарны. Поле стены аттика, а также проемы люкарн декорированы килевидными кокошниками. Раскрепованные углы аттика украшены ромбовидными нишами, в которые помещен рельефный мотив солнца с лучами [11].

### **Заключение.**

В самарской архитектуре, как и во многих российских городах, строительство храмов в «русско-византийском стиле» стало способом отражения национальной идентичности в период, когда Россия стремилась утвердить свою самобытность.

Отличительные особенности «русско-византийского стиля» в храмовой архитектуре Самары проявились в следующих аспектах:

✓ *в композиционной структуре*, которая опиралась на возврат церковного зодчества к фундаментальным принципам традиционной византийской архитектуры, с акцентом на доминирование конструкций с четырьмя столпами, тремя нефами и пятью куполами; на центрально-купольной планировке с ярко выраженной вертикальной осью.

✓ *в пространственной организации*: сложное взаимодействие внутренних помещений с акцентом на литургическое пространство; массивные опоры и мощные своды, обеспечивающие устойчивость конструкции; более приземистые по сравнению с византийскими образцами, что связано с суровым климатом и необходимостью лучшей теплоизоляции;

✓ *в материально-конструктивных особенностях*: кирпичные или каменно-деревянные - нижняя часть храма каменная, а верхняя - деревянная;

✓ *в пятиглавом завершении*: с куполами характерной луковичной формы, которые становятся символом русской православной архитектуры;

✓ *в использовании декоративных форм русской архитектуры*: килевидных кокошников, аркатуры и т.д.; использование блоков светлого известняка в качестве декоративных элементов, интегрированных в кирпичную кладку, для создания карнизов или колонн. В архитектурном оформлении преобладают лаконичные, строгие формы, унаследованные от византийского стиля.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Сокольникова, Н. М.** История стилей в искусстве / Н. М. Сокольникова, В. Н. Крейн. – Москва: Гардарики, 2006. – 360 с.

2. **Кириченко, Е. И.** Русский стиль: Поиски выражения национальной самобытности. Народность и национальные традиции древнерусского и народного искусства в русском искусстве XVIII – начала XX века / Е. И. Кириченко. – Москва: Галарт: АСТ, 1997. – 84 с.

3. **Акашева, А. С.** Краткий курс истории архитектурных стилей России (эволюция, детерминации, antecedенты) / А. С. Акашев; под ред. А. Г. Лазарева. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2006. – 73 с.

4. **Кириченко, Е. И.** Архитектор Василий Косяков / Е. И. Кириченко. – Москва: БуксМарт, 2016. – 58 с.

5. **Блок, В. С.** Монастыри Самарского края (XVI...XX вв.) / В. С. Блок, К. А. Катренко. – Самара: Самарский Дом печати, 2002. – 213 с.

6. Православные святые Самарского края: Историко-церковная энциклопедия / Самарская и Сызранская епархия Русской православной церкви и др. – Самара: Б. и., 2001. – 264 с.

7. Самарский Иверский женский монастырь: к 160-летию основания обители / И. А. Мудрова. – Самара: Б. и., 2010. – 109 с.
8. **Косенкова, Н. А.** Ретроспективный анализ исторически сложившихся градостроительных доминант / Н. А. Косенкова, Д. В. Литвинов, Е. В. Косенкова // Градостроительство и архитектура. – 2019. – Т. 9. – № 4(37). – С. 91-98.
9. **Каркарьян, В. Г.** Самара – Куйбышев – Самара, или Три портрета одного города / В. Г. Каркарьян. – Самара: СГАСУ, 2004. – 471 с.
10. **Буряя, И. В.** Архитектура Сызрани конца XVII – начала XX века / И.В. Буряя. – Самара: Полиграфия, 2008. – 81 с.
11. **Вавилонская, Т. В.** Культурное наследие Самарской области. Т. 1: Объекты архитектурного наследия / Т. В. Вавилонская, Е. А. Ахмедова. – Самара: Б. и., 2020. – 487 с.

Поступила в редакцию 29 января 2026

## RUSSIAN-BYZANTINE STYLE IN ARCHITECTURE OF SAMARA-CITY

**D. V. Litvinov, N. A. Orlova, N. A. Kosenkova**

---

Denis Vladimirovich Litvinov, Cand. Sc. (Architecture), Professor of the Department of Architectural Heritage Reconstruction and Restoration, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Samara, Russia, tel.: +7(846)340-02-36; e-mail: litvinov-dv@mail.ru

Natalia Aleksandrovna Orlova, Associate Professor of the Department of Architectural Heritage Reconstruction and Restoration, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Samara, Russia, tel.: +7(846)340-02-36; e-mail: pochto@yandex.ru

Natalya Alekseevna Kosenkova, Cand. Sc. (Architecture), Associate Professor of the Department of Reconstruction and Restoration of Architectural Heritage, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Samara, Russia, tel.: +7(846)340-02-36; e-mail: kosenkovana@mail.ru

---

The article is devoted to the study of the ‘Russian-Byzantine style’ in the architectural heritage of the Samara region. Attention is paid to the historical context of the emergence and development of the style, its connection with national architectural trends, and the influence of local urban planning features. The article briefly examines the historical aspects of the emergence of the ‘Russian-Byzantine style’ in Russian architecture. The analysis covers the St. Nicholas Church of the Samara St. Nicholas Monastery, the Church of the Presentation of the Lord in the Samara Iversky Convent, the Ascension Cathedral of the Syzran Ascension Monastery, and the Church of St. Barbara the Great Martyr in Tolyatti-city. The study is based on drawings and model church projects created by architect K. Thon and recommended as ‘models for use and imitation’. The focus is on their architectural elements as characteristic features of this style, such as the shape of the domes, the decorative design of the facades, and the layout of the buildings. The study aims to explore the Samara interpretation of the ‘Russian-Byzantine style’ and its role in shaping the architectural style and preserving the cultural identity of the region.

**Keywords:** ‘Russian-Byzantine style’; church construction; model church projects; monasteries and churches in the city of Samara.

## REFERENCES

1. **Sokolnikova N. M., Krein V. N.** *History of Styles in Art*. Moscow, Gardariki. 2006. 360 p. (in Russian)
2. **Kirichenko E. I.** *Russian Style: Searching for the Expression of National Identity. Nationality and National Traditions of Old Russian and Folk Art in Russian Art of the 18th. Early 20th Centuries*. Moscow. Galart. AST. 1997. 84 p. (in Russian)

3. **Akashova A. S.** *A brief course in the history of architectural styles in Russia (evolution, determinations, antecedents)*. Rostov-on-Don. Rostov State University of Civil Engineering. 2006. 73 p. (in Russian)
4. **Kirichenko E. I.** *Architect Vasily Kosyakov*. / Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Research Institute of Urban Planning and Architecture. Moscow, BuksMart. 2016. 58 p. (in Russian)
5. *Monasteries of the Samara region (XVI–XX centuries): Handbook*. Upr. state arch. services of the Samara region; Comp. V. S. Blok, K. A. Katrenko. Samara. House of Press. 2002. 213 p. (in Russian)
6. *Orthodox shrines of the Samara region: Historical churches. The encyclopedia*. Samar. and from Scratch. Diocese of Rus. orthodox churches, etc. Samara. B. N. I. N. 2001. Pp. 264. (in Russian)
7. **Mudrova I. A.** *Samara Iversky Convent: On the 160th Anniversary of the Convent's Foundation*. Samara. b. i. 2010. 109 p. (in Russian)
8. **Kosenkova N. A., Litvinov D. V., Kosenkova E. V.** *Retrospective Analysis of Historically Established Urban Planning Dominants*. Urban Planning and Architecture. 2019. Vol. 9. No. 4(37). Pp. 91-98. (in Russian)
9. **Karkarian V. G.** *Samara – Kuibyshev – Samara, or Three portraits of one city*. education of the Russian Federation, Samara State Architectural-builds. univ. Samara. SSASU. 2004. 471 p. (in Russian)
10. **Buraya I. V.** *Architecture of Syzran in the late 17th – early 20th centuries*. Syzran. Poligrafiya. 2008. 81 p. (in Russian)
11. **Vavilonskaya T. V., Akhmedova E. A.** *Cultural Heritage of the Samara Region*. Vol. 1: Architectural Heritage Sites. Government of the Samara Region. Samara. 2020. 487 p. (in Russian)

*Received 29 January 2026*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Литвинов, Д. В.** Русско-византийский стиль в Самарской архитектуре / Д. В. Литвинов, Н. А. Орлова, Н. А. Косенкова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 1(36). – С. 76-86. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.008.

**FOR CITATION:**

**Litvinov D. V., Orlova N. A., Kosenkova N. A.** *Russian-byzantine style in architecture of Samara-city*. Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 1(36). Pp. 76-86. DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.008. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.009

УДК 69.001.5:712.25

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ 3D-ПЕЧАТИ В БЛАГОУСТРОЙСТВО ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДА ВОЛГОГРАДА

**Н. В. Коростелева, Е. Ю. Козьмина**

---

Коростелева Наталия Владимировна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры городского строительства, экономики и управления проектами, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(8442)24-81-15; e-mail: korostelevanv@mail.ru;  
Козьмина Екатерина Юрьевна, магистрант Института Архитектуры и Строительства, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(8442)24-81-15; e-mail: ekaterina141002@icloud.com

---

Статья посвящена исследованию перспектив внедрения строительной 3D-печати как инновационного инструмента комплексного благоустройства городских территорий на примере города Волгограда. В условиях реализации национального проекта «Жилье и городская среда» актуальным становится поиск технологий, способных обеспечить быстрое, экономичное и эстетически выразительное обновление общественных пространств. Методом системного анализа проведена оценка ключевых технологий аддитивного производства (послойное экструдирование, напыление), выявлены их функциональная специализация и взаимодополняемость для создания как конструктивных, так и декоративных элементов благоустройства, включая малые архитектурные формы и уникальные ландшафтные объекты с высокой детализацией. Систематизирован мировой и отечественный опыт, демонстрирующий переход технологии от экспериментальной стадии к практическому и коммерческому применению в градостроительном контексте. Особое внимание уделено анализу специфических факторов Волгограда, определяющих условия внедрения: резко-континентальный климат, требующий адаптации материалов и проектных решений; уникальное историко-мемориальное наследие, выступающее смысловой основой для дизайна; социально-экономические приоритеты по обновлению городской среды. На основе проведённого анализа разработана поэтапная стратегия интеграции, включающая формирование нормативно-инфраструктурной базы, реализацию пилотных демонстрационных проектов и последующее масштабирование технологии через её включение в муниципальные программы и стимулирование локального производства. Сделан вывод о том, что адаптация 3D-печати к конкретным условиям местности позволяет рассматривать её как эффективный инструмент для формирования комфортной, устойчивой и идентичной городской среды Волгограда, отвечающий современным вызовам градостроительного развития и формирующий новые стандарты качества и оригинальности общественных пространств.

**Ключевые слова:** 3D-печать в строительстве; аддитивные технологии; благоустройство городских территорий; комфортная городская среда; малые архитектурные формы.

Современная парадигма градостроительства и развития городской среды, сформулированная в национальном проекте «Жилье и городская среда», делает акцент на создании комфортных, функциональных и эстетически ценных общественных пространств. Благоустройство территорий выступает тактическим инструментом реализации стратегических градостроительных планов, напрямую влияя на качество жизни горожан.

В условиях необходимости быстрого, экономически эффективного и экологичного обновления городской инфраструктуры возрастает роль технологических инноваций. Аддитивные технологии, в частности строительная 3D-печать, выходят за рамки возведения капитальных объектов и демонстрируют значительный потенциал в сфере благоустрой-

ства [1, 2]. Технология позволяет создавать уникальные, адаптированные к локальному контексту элементы городского дизайна – от малых архитектурных форм до сложных ландшафтных решений [3, 4].

Целью данной статьи является анализ возможностей и разработка рекомендаций по интеграции результатов 3D-печати в процессы благоустройства территорий города Волгограда.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- ✓ провести анализ ключевых технологий строительной 3D-печати, выявив их технико-экономические характеристики, потенциал и ограничения применительно к созданию элементов благоустройства и малых архитектурных форм;

- ✓ систематизировать мировой и отечественный опыт применения аддитивных технологий в градостроительстве и благоустройстве общественных пространств для определения успешных практик и тенденций;

- ✓ проанализировать социально-экономические, климатические и градостроительные особенности Волгограда как факторы, определяющие специфику и приоритеты внедрения 3D-печати в процессы благоустройства;

- ✓ на основе проведенного анализа разработать комплекс практических рекомендаций и предложить поэтапную стратегию интеграции технологии 3D-печати в благоустройство ключевых общественных территорий Волгограда.

Предметом исследования являются технологические, организационно-экономические и градостроительные аспекты внедрения и использования технологий строительной 3D-печати для создания и интеграции элементов благоустройства и малых архитектурных форм в городскую среду Волгограда.

В качестве инструмента исследования был применён метод системного анализа. Широкий круг задач благоустройства обуславливает существование различных технологических подходов к аддитивному производству. Каждый из методов отличается принципами работы, материалами, экономическими показателями и оптимальной областью применения в городском контексте [5...7]. Для наглядности ключевые методы, наиболее релевантные для производства МАФ и элементов благоустройства, систематизированы в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ методов 3D-печати применяемых для благоустройства

Критерий	Послойное экструдирование (бетон)	Напыление (песок плюс связующее)
Принцип работы	Подача бетонной смеси под давлением и послойное укладывание.	Распыление смеси песка и жидкого связующего на рабочую поверхность.
Ключевые особенности	Высокая прочность, возможность создания крупногабаритных элементов.	Высокая детализация, возможность создания сложных текстур и форм.
Оптимальное применение в благоустройстве	Скамьи, вазоны, подпорные стенки, основания павильонов, беседки.	Декоративные панели, рельефные элементы, вентиляционные решетки, малые скульптурные формы.
Исходные материалы	Бетон, цементно-песчаные и геополлимерные смеси.	Кварцевый песок, связующие (фурановая смола, силикаты).
Экологичность	Средняя (выбросы при производстве цемента, водопотребление).	Средняя (возможны испарения органических связующих).
Скорость создания	Высокая (до 1 м <sup>3</sup> /ч для крупных элементов).	Средняя (зависит от детализации и площади).
Ограничения	Требует армирования для несущих элементов, ограничения по криволинейным формам.	Низкая несущая способность, чувствительность к влаге.

Сравнительный анализ методов строительной 3D-печати выявил их функциональную специализацию и взаимодополняемость. Технология послойного экструдирования

бетона демонстрирует преимущества в производстве конструктивных элементов благоустройства, требующих высокой несущей способности и долговечности (скамьи, подпорные стенки). В то же время метод напыления проявляет наибольший потенциал в создании декоративно-художественных компонентов городской среды с высоким уровнем детализации и сложностью форм. Таким образом, выбор технологии должен определяться функциональным назначением создаваемого объекта [8, 9].

Накопленный международный (Китай, США, Нидерланды, ОАЭ) и российский опыт наглядно демонстрирует переход технологии 3D-печати из экспериментальной плоскости в практическое русло, в том числе в сфере благоустройства. Анализ реализованных проектов в благоустройстве (табл. 2) выявляет ключевые тенденции и подтверждает жизнеспособность технологии.

Таблица 2

## Анализ реализованных проектов с применением 3D-печати в благоустройстве территорий

Объект (Локация)	Описание и применяемая технология	Значение для благоустройства	Применимость для Волгограда
Boulder Park (Цзинань, Китай)	Общественный парк с ландшафтными формами (пещера, скалы), напечатанными из бетона.	Интеграция масштабных 3D-печатных элементов в ландшафтный дизайн, создание уникальной эстетики.	Демонстрирует возможность создания тематических рекреационных зон (напр., на набережной Волгограда).
Беседка «Тет-а-тет» (Россия)	Компактная сборная беседка, изготовленная методом 3D-печати.	Пример успешной коммерциализации технологии для серийного производства МАФ.	Готовое тиражируемое решение для скверов, дворов, зон отдыха.
Игровой комплекс «Немо» (Россия)	Детский игровой комплекс в виде рыбы, включающий скалодром, горки.	Создание безопасных, эстетичных и тематических детских площадок.	Актуально для программы модернизации детских пространств в городе.
Качели парковые «Сочи» (Россия)	Качели с возможностью индивидуального оформления арки (логотип, название).	Персонализация элементов благоустройства, укрепление локальной идентичности.	Может использоваться в парках и скверах с присвоением имен или тематическим оформлением.

Мировой опыт свидетельствует о стратегическом подходе к технологии, ее использовании для создания знаковых объектов и поддержке на государственном уровне. Российская практика, в частности проекты компании «Хоббика», демонстрирует тактическое освоение рынка через коммерческое производство серийных и штучных МАФ, что доказывает экономическую состоятельность технологии в данном сегменте. Для Волгограда оптимальным представляется синтез этих подходов, сочетающий реализацию эффективных пилотных проектов для формирования имиджа и повсеместное внедрение экономически эффективных типовых решений для системного благоустройства.

Успешная интеграция любой технологии требует учета конкретных условий места. Для Волгограда ключевыми факторами, влияющими на внедрение 3D-печати в благоустройство, являются: климатические условия, историко-культурный контекст и социально-экономические приоритеты.

К определяющему фактору адаптации относятся климатические условия. Специфичный для региона резко-континентальный климат (засушливое лето, большие амплитуды температур, высокая инсоляция и ветровая активность) выступает ключевым внешним ограничителем, определяющим параметры адаптации технологии. Это обуславливает необходимость учета следующих особенностей:

✓ переход на специализированные материалы с модифицированными свойствами: повышенной устойчивостью к растрескиванию, морозу и деградации под воздействием ультрафиолета;

✓ климатически-ориентированное проектирование элементов благоустройства, которое включает архитектурные решения для защиты от перегрева (козырьки), эффективного водоудаления и минимизации обслуживания (формы, отгаливающие пыль); Положительный опыт адаптации 3D-печати к схожим по экстремальности условиям в Дубае (ОАЭ) служит практическим доказательством осуществимости данной задачи для Волгограда;

✓ учет историко-культурного контекста.

Уникальное мемориальное наследие и статус города-героя задают Волгограду особый историко-культурный контекст. Аддитивные технологии предоставляют практические средства для его учёта в современном благоустройстве через:

✓ проектирование МАФ с исторической тематикой, которые визуализируют память о Сталинградской битве, этапах развития города и его характерных архитектурных стилях (включая сталинский ампи́р).

✓ цифровую реконструкцию и воспроизводство утраченных элементов исторического облика (лепнина, элементы ограждений, светильники) с высочайшей степенью детализации, недоступной традиционным методам.

Третьим ключевым фактором выступают социально-экономические приоритеты, закреплённые в национальном проекте «Жильё и городская среда», а именно – задача быстрого и качественного обновления общественных пространств. 3D-печать напрямую отвечает этим требованиям, выступая инструментом для:

✓ оперативного насыщения инфраструктурой новых и реконструируемых районов, ликвидируя дефицит элементов благоустройства;

✓ развития локальной производственной базы, что снижает зависимость от межрегиональных поставок типовой продукции и сокращает логистические издержки;

✓ формирования уникальной городской идентичности через создание запоминающихся объектов, которые, будучи вписаны в исторический контекст (например, на набережной или у мемориальных комплексов), становятся новыми точками притяжения и усиливают туристический потенциал Волгограда.

Таким образом, на основе анализа мирового опыта и специфики Волгограда авторами предлагается поэтапная стратегия внедрения 3D-печати в практику благоустройства города, направленная на минимизацию рисков и получение максимальной отдачи от внедрения.

На начальном этапе основное внимание должно быть уделено формированию инфраструктурной и нормативной основы, необходимой для успешного масштабирования технологии в будущем. Ключевые меры на данной стадии включают:

✓ учреждение межведомственной рабочей группы при мэрии с участием экспертов из строительной отрасли, ВолгГТУ, дизайнеров и экологов для координации усилий;

✓ разработка и принятие специальных технических условий (СТУ) для проектирования, изготовления и монтажа 3D-печатных элементов с учетом климатических требований региона;

✓ создание открытой цифровой библиотеки (BIM-библиотеки) типовых моделей МАФ (скамейки, урны, вазоны), адаптированных к местным условиям;

✓ запуск программ дополнительного образования и повышения квалификации на базе ВолгГТУ для подготовки кадров (операторы, BIM-менеджеры, технологи).

Основная цель второго этапа – переход от теории к практике, на основе апробирования технологии и создания публичного запроса на её применение. Инициировать этот процесс предлагается через организацию открытого архитектурного конкурса, который не только выявит оптимальное проектное решение для ключевой территории, но и станет ин-

струментом публичного диалога о будущем городской среды. Непосредственным продолжением этой работы станет реализация двух-трех демонстрационных проектов, отобранных по итогам конкурса или разработанных параллельно. В их число могут войти:

- ✓ благоустройство участка набережной с установкой тематических печатных скамеек и арт-объектов, визуально интегрированных в исторический контекст;
- ✓ создание современной детской игровой площадки с использованием напечатанных безопасных, эргономичных и уникальных по дизайну элементов;
- ✓ открытие Центра компетенций (на базе вуза или в партнёрстве с бизнесом) для практических испытаний материалов, выполнения первых коммерческих и социальных заказов, а также оказания консультационной поддержки всем участникам процесса.

Завершающая фаза направлена на интеграцию технологии в городское управление и её повсеместное распространение. На этом этапе ключевой задачей становится переход от пилотных экспериментов к планомерному и регулярному использованию 3D-печати в городском хозяйстве. Для этого необходимы следующие системные шаги:

Включение аддитивных технологий в официальные документы: закрепление принципов и методов 3D-печати в муниципальных программах благоустройства, а также в технических регламентах и стандартах закупок для городских нужд.

Стимулирование рынка и предпринимательства: разработка и внедрение целевых мер поддержки (например, налоговых льгот, грантов, субсидий) для местных производителей, что позволит создать устойчивую экосистему малых и средних предприятий в данной сфере.

Развитие межрегиональной кооперации: установление прочных партнёрских связей с соседними регионами для обмена лучшими практиками, совместной реализации проектов и формирования эффективной логистической цепочки, что усилит позиции Волгограда как центра инноваций.

Предложенный комплекс мер обеспечивает переход от единичных проектов к системному использованию аддитивных технологий как инструмента устойчивого развития городской среды Волгограда.

### **Заключение.**

Проведённый анализ подтверждает положительные перспективы внедрения 3D-печати в благоустройство Волгограда. Технология демонстрирует высокую степень готовности к практическому применению, предлагая экономически эффективные и технологичные решения для создания как типовых, так и уникальных элементов городской среды.

Ключевым условием успешной реализации этих перспектив выступает глубокая адаптация технологии к специфическим региональным факторам: суровому резкоконтинентальному климату, требующему разработки специальных материалов и конструктивных решений; уникальному историко-мемориальному наследию, предоставляющему содержательную основу для проектирования; и актуальным социально-экономическим задачам, сформулированным в рамках национальных проектов.

Предложенная поэтапная стратегия, включающая нормативную подготовку, реализацию пилотных проектов и последующую системную интеграцию, определяет реалистичный путь перехода от экспериментального использования к планомерному внедрению 3D-печати в градостроительную практику Волгограда.

В результате системной реализации данного подхода 3D-печать может стать катализатором качественного преобразования общественных пространств, обеспечивая сочетание оперативности, экономической эффективности и усиления уникальной городской идентичности, что соответствует стратегическим целям формирования комфортной и устойчивой городской среды.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Иноземцев, А. С.** Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве / А. С. Иноземцев, Е. В. Королев, Тхань Куй Зыонг // Вестник МГСУ. – 2018. – № 7(118). – С. 863-876.
2. **Лунева, Д. А.** Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития / Д. А. Лунев, Е. О. Кожевникова, С. В. Калошина // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2017. – № 1. – С. 90-101.
3. **Адамцевич, Л. А.** Аддитивное строительное производство: прошлое, настоящее, будущее / Л. А. Адамцевич, А. П. Пустовгар, А. О. Адамцевич // Жилищное строительство. – 2024. – № 8. – С. 3-10.
4. **Адамцевич, А. О.** Аддитивное строительное производство: обзор мирового опыта / А. О. Адамцевич, А. П. Пустовгар, Л. А. Адамцевич // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 12. – С. 83-97.
5. **Galishnikova, V. A** Comparative Analysis of Sources on Additive Manufacturing Technologies in Construction / V. V. Galishnikova, A. I. Koreneva, I. R. Mikuliak // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2936. – No. 030012.
6. **Коротеев, Д. Д.** Применение аддитивных технологий производства в строительстве на примере разработки 3D-модели с последующей печатью / Д. Д. Коротеев, А. И. Коренева // Системные технологии. – 2021. – № 2(39). – С. 21-30.
7. **Берсенева, М. Л.** Экономическая эффективность аддитивных технологий в строительной отрасли / М. Л. Берсенева, Н. Ю. Клиндух, Т. В. Данченко // Вестник евразийской науки. – 2020. – №1. – С. 3.
8. **Емельянов, Р. Т.** Моделирование 3D печати малых архитектурных форм / Р. Т. Емельянов, А. П. Прокопьев, С В. Пиндур // Вестник евразийской науки. – 2020. – №2. – С. 8.
9. Concrete 3D printing technology for sustainable construction: A review on raw material, concrete type and performance / X. Wang, W. Li, Y. Guo, A. Kashani, K. Wang, L. Ferrara, I. Agudelo // Developments in the Built Environment. – 2024. – Vol. 17. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100378>.

*Поступила в редакцию 5 февраля 2026*

## PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF 3D PRINTING IN THE IMPROVEMENT OF THE TERRITORIES OF THE CITY OF VOLGOGRAD

**N. V. Korosteleva, E. Yu. Kozmina**

---

Nataliya Vladimirovna Korosteleva, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Urban Construction, Economics and Project Management, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, tel.: +7(8442)24-81-15; e-mail: korostelevanv@mail.ru,  
Ekaterina Yurievna Kozmina, master's student of the Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, tel.: +7(8442)24-81-15; e-mail: ekaterina141002@icloud.com

---

The article is devoted to the study of the prospects for the introduction of 3D construction printing as an innovative tool for the integrated improvement of urban areas on the example of the city of Volgograd. In the context of the implementation of the national project 'Housing and Urban Environment', the search for technologies that can provide quick, economical and aesthetically expressive renewal of public spaces becomes relevant. By the method of system analysis, the key technologies of additive production (layer-by-layer extrusion, spraying) were evaluated, their functional specialization and complementarity were revealed to create both structural and decorative elements of improvement, including small architectural forms and unique landscape objects with precise detailing. World and domestic experience

has been systematized, demonstrating the transition of technology from the experimental stage to practical and commercial application in the urban planning context. Particular attention is paid to the analysis of specific factors of Volgograd that determine the conditions for implementation: a sharply continental climate that requires the adaptation of materials and design solutions; a unique historical and memorial heritage that acts as a semantic basis for design; socio-economic priorities for urban renewal. Based on the analysis, we developed a phased integration strategy, including the formation of a regulatory framework, the implementation of pilot demonstration projects and the subsequent scaling of the technology through its inclusion in municipal programs and the stimulation of local production. It was concluded that the deep adaptation of 3D printing to the specific conditions of the place allows us to consider it as an effective tool for creating a comfortable, stable and identical urban environment in the city of Volgograd, meeting modern challenges of urban development and forming new standards for the quality and originality of public spaces.

**Keywords:** 3D printing in construction; additive technologies; improvement of urban areas; comfortable urban environment; small architectural forms.

## REFERENCES

1. **Inozemcev A. S., Korolev E. V., Txan` Kuj Zy`ong.** *Analysis of existing technological solutions for 3D printing in construction.* Bulletin of MGSU. 2018. No. 7(118). Pp. 863-876.
2. **Lunev D. A., Kozhevnikova E. O., Kaloshina S. V.** *Application of 3D printing in construction and prospects for its development.* Bulletin of PNIPU. Construction and architecture. 2017. No. 1. Pp. 90-101.
3. **Adamcevich L. A., Pustovgar A. P., Adamcevich A. O.** *Additive construction production: past, present, future.* Housing construction. 2024. No. 8. Pp. 3-10.
4. **Adamcevich A. O., Pustovgar A. P., Adamcevich L. A.** *Additive construction manufacturing: an overview of global experience.* Industrial and civil construction. 2023. No. 12. Pp. 83-97.
5. **Galishnikova V. V., Koreneva A. I., Mikuliak I. R.** *Manufacturing Technologies in Construction.* AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2936. No. 030012.
6. **Koroteev D. D., Koreneva A. I.** *The use of additive production technologies in construction using the example of the development of a 3D model with subsequent printing.* System technologies. 2021. No. 2(39). Pp. 21-30.
7. **Berseneva M. L., Klindux N. Yu., Danchenko T. V.** *Cost effectiveness of additive technologies in the construction industry.* Bulletin of Eurasian Science. 2020. No. 1. Pp. 3.
8. **Emel'yanov R. T., Prokop`ev A. P., Pindur S V.** *Modeling 3D Printing of small architectural forms.* Bulletin of Eurasian Science. 2020. No. 2. Pp. 8.
9. **Wang X., Li W., Guo Y., Kashani A., Wang K., Ferrara L., Agudelo I.** *Concrete 3D printing technology for sustainable construction: A review on raw material, concrete type and performance.* Developments in the Built Environment. 2024. Vol. 17. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100378>.

*Received 5 February 2026*

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

**Коростелева, Н. В.** Перспективы внедрения 3d-печати в благоустройство территорий города Волгограда / Н. В. Коростелева, Е. Ю. Козьмина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 1(36). – С. 87-93. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.009.

## FOR CITATION:

**Korosteleva N. V., Kozmina E. Yu.** *Prospects for the introduction of 3d printing in the improvement of the territories of the city of Volgograd.* Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 1(36). Pp. 87-93. DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.009. (in Russian)

---

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

---

DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.010

УДК 534.836.2

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ШУМА И ВИБРАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ОБЗОР АКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

**Е. И. Головина, Д. А. Соколов, С. В. Артыщенко, А. А. Пилосян**

---

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

Соколов Дмитрий Алексеевич, аспирант кафедры искусственного интеллекта и цифровых технологий 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

Пилосян Арман Артурович, магистр кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: ara-1001@mail.ru

---

Представлены теоретические аспекты и обзор технологических решений системы мониторинга шума и вибрации от железнодорожного транспорта. Рассмотрены основы генерации и распространения шума и вибрации от железнодорожного транспорта. Выполнен анализ современных технологических решений для моделирования интеллектуального мониторинга, представляющих собой многоуровневые комплексы, включающие сенсорные сети, системы передачи данных, платформы аналитики и интерфейсы визуализации. Рассматривается возможность использования интеллектуальных систем организации мониторинга, фиксирования превышения нормативных значений и проведения диагностики у источников возникновения шума и вибрации. Предложен алгоритм работы интеллектуальной системы мониторинга виброакустического воздействия на железнодорожном транспорте. Ключевое преимущество алгоритма – результаты диагностики с выявлением возможной причины виброакустического шума и указанием возможных повреждений компонентов в железнодорожном полотне или составе. Внедрение интеллектуальных систем мониторинга шума и вибрации позволит снизить затраты на содержание пути и подвижного состава, продлить срок их службы за счет своевременного определения механизмов повреждения и устранения дефектов.

**Ключевые слова:** шум; вибрация; железнодорожный транспорт; интеллектуальные системы мониторинга; технологические решения.

С течением развития железнодорожного движения влияние виброакустических факторов на городскую среду является мощным источником дискомфорта. С увеличением скорости движения и интенсивности перевозок воздействие шума и вибрации на население и инфраструктуру приобретает масштабный характер, что требует внедрения современных систем мониторинга и управления. Традиционные методы измерения и снижения шума демонстрируют недостаточную эффективность в условиях реальной эксплуатации, что обусловлено переменным характером нагрузок, разнообразием источников шума и сложностью распространения колебаний в различных средах.

Интеллектуальные системы мониторинга, основанные на непрерывном сборе дан-

ных, машинном обучении и предиктивной аналитике, открывают новые возможности для решения проблемы шумового и вибрационного воздействия железнодорожного транспорта [1].

Интеграция технологий искусственного интеллекта в системы экологического контроля позволяет не только регистрировать текущие параметры, но и прогнозировать критические ситуации, оптимизировать мероприятия по минимизации акустического воздействия, а также самостоятельно принимать решения в условиях изменений эксплуатации [2].

В данной статье рассматриваются теоретические основы генерации и распространения шума и вибрации от железнодорожного транспорта, анализируются современные технологические решения для интеллектуального мониторинга, а также представлен алгоритм работы интеллектуальной системы мониторинга виброакустического воздействия на железнодорожном транспорте.

Уровень шума от железных дорог зависит от множества факторов, а мероприятия по снижению шума и вибрации от железнодорожного транспорта можно разделить на две основные категории: мероприятия в источнике образования и мероприятия на пути распространения [3].

К наиболее эффективным решениям в источнике относятся:

- ✓ укладка бесстыкового пути, которая позволяет исключить ударные воздействия при прохождении колесами стыков рельсов;
- ✓ регулярная шлифовка рельсов для устранения волнообразного износа и других неровностей поверхности катания; -
- ✓ применение амортизирующих прокладок под рельсами, которые снижают динамические нагрузки и вибрацию;
- ✓ улучшение рессорного подвешивания и применение упругих резиновых, пружинных или гидравлических амортизаторов на подвижном составе; амортизация двигателей и вспомогательных машин на подвижном составе .

Современным трендом является создание интегрированных систем управления трением, износом и шумом в железнодорожных сетях, основанных на мониторинге шума и вибрации в реальном времени, поддерживаемом облачным подключением, искусственным интеллектом (ИИ) и машинным обучением [4]. Это позволяет перейти от предустановленных триггеров к приложениям на основе условий, оптимизации в масштабах всей сети и обмену данными между транспортными средствами для повышения производительности системы.

При взаимодействии железнодорожного пути и подвижного состава образуется звук, уровень которого зависит от интенсивности колебаний, инерционных свойств, формы и размещения элементов, взаимодействия их друг на друга. Например, дисковые тормозные механизмы обеспечивает снижение шума по сравнению с колодочными, за счет более ровной поверхности колес

По мере увеличения скорости движения интенсивность шума возрастает из-за воздействия воздушной среды на поезд и вызывает аэродинамическое сопротивление, и возрастает пропорционально квадрату скорости. Аэродинамический шум особенно проявляется при высокой скорости (более 300 км/ч) и зависит от формы покрытия корпуса, расположения и количества токоприемников, длины железнодорожного состава.

Из-за конструктивных особенностей узлов вагонов и локомотивов может возникать вибрация в разных диапазонах частот. Стоит отметить, что приоритетные факторы, которые влияют на частоту и характер вибрации – это расположение вагонов в составе поезда, особенности рельефа местности, состояние железнодорожного полотна.

Низкочастотные колебания возникают из-за колебаний состава на сильных неровностях полотна, а также при сильной качки в процессе движения. Такие колебания характеризуются частотой до 7 Гц.

Среднечастотные колебания возникают из-за взаимодействия колесных пар с рельсом в процессе движения. Такие колебания передаются от тележки на корпус вагона (15...30 Гц). Вибрация, которая появляется в связи с работой двигателя, тормозной системы и расхождений размеров колеса и рельса находится в диапазоне частот выше 30 Гц. В процессе качения создаются силы, которые вызывают колебания в окружающей среде, в частности – в грунте. Упругие волны частотой между 30 и 80 Гц несут негативное воздействие на человека и окружающую среду, создают структурный шум.

Учет негативных эффектов, связанных с подобными колебаниями весьма важен, в том числе и потому, что при распространении в грунте упомянутые волны могут усиливаться в определенных точках или, корректнее – в определенных зонах, примыкающих к железнодорожным путям, особенно если форма соответствующих участков железнодорожного полотна близка по форме к некоторым кривым второго порядка, как отмечалось в работе авторов [5].

Там же было отмечено что подобная фокусировка и концентрация могут быть характерны и для других видов играющих негативную роль колебаний, в частности для акустических.

Следует заметить, что несмотря на развиваемые в [5] представления о возможности описания указанных процессов с помощью классических аналитических моделей и возможности получения в некоторых «классических» случаях аналитических решений, все же моделирование указанных задач даже в классических случаях «вручную» весьма трудоемко.

В связи с этим, целесообразно внедрение обсуждаемых в настоящей работе систем, включающих специализированное программное обеспечение и интеллектуальные системы для моделирования, мониторинга шума и вибрации от железнодорожного транспорта, предусматривающих возможность моделирования и прогнозирования акустической обстановки.

В Российской Федерации нормирование вибрации проводится в соответствии с СП 441.1325800.2019 (табл. 4.2)<sup>1</sup> по виброскоростям для жилых и общественных зданий. В отличие от акустического воздействия, вибрация определяется для трех направлений действия по отношению к человеку.

Для железнодорожного транспорта вибрация носит непостоянный характер воздействия, определяемого графиком движения поездов. Для вибрации характерны частоты от 4 до 250 Гц в зависимости от преобладающего типа поездов (для грузовых поездов характерны более низкие частоты 4...63 Гц), табл. 1 [6].

Таблица 1

Зоны влияния железнодорожного транспорта  
в зависимости от типа подвижного состава

Тип подвижного состава	Расстояние	Характерные частоты
Грузовые поезда	200 м	4...63 Гц
Моторвагонные, скоростные и пассажирские поезда	60 м	16...250 Гц
Поезда в тоннелях	40 м	30...250 Гц

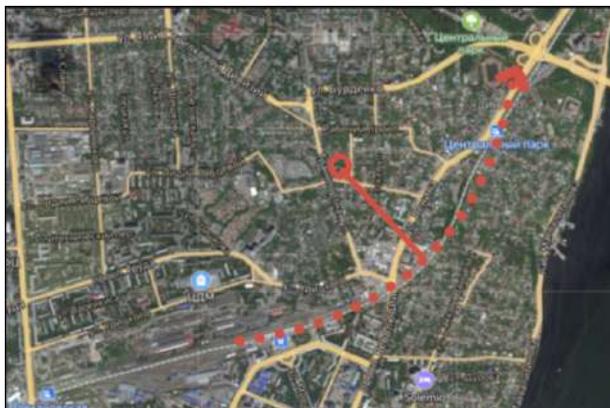
Выбор точек с наиболее высоким уровнем звукового давления и вибрации как координат-фокусов соответствующих кривых состоит в определении геометрической формы участков железнодорожного пути приближенных к одной из кривых второго порядка, рис. 1 [5].

Средства наблюдений имеют значительный эволюционный путь от механизации к электронике, от аналоговых систем к современным цифровым технологиям [1]. Современ-

<sup>1</sup> СП 441.1325800.2019. Защита зданий от вибрации, создаваемой железнодорожным транспортом. Правила проектирования

менные интеллектуальные системы мониторинга шума и вибрации могут представлять собой многоуровневые комплексы, включающие сенсорные сети, системы передачи данных, платформы аналитики и интерфейсы визуализации. Основу таких систем составляют распределенные датчики, устанавливаемые как на подвижном составе, так и на инфраструктуре, которые непрерывно регистрируют параметры вибрации и акустические сигналы.

а)



б)



Рис. 1. Примеры участков железнодорожных путей, близкими по форме к дуге окружности:  
а – г. Воронеж; б – города региона Кавказских Минеральных Вод

Ключевым преимуществом интеллектуальных систем является возможность не просто фиксировать превышения нормативных значений, а проводить диагностику источников возникновения шума и вибрации, определять механизмы повреждения и прогнозировать их развитие.

Современные алгоритмы анализа данных шума и вибрации основаны на методах машинного обучения и искусственного интеллекта. Они позволяют идентифицировать различные механизмы взаимодействия в системе "колесо-рельс" по их акустическим сигнатурам, что открывает возможности для упреждающей диагностики неисправностей.

Алгоритмы работают с различными параметрами вибрации, каждый из которых дает уникальную информацию о состоянии оборудования:

- ✓ вибрационное смещение измеряет фактическое физическое перемещение компонента из его положения покоя и особенно ценно для анализа низкочастотных вибраций [7];
- ✓ под скоростью вибрации нужно принять скорость изменения смещения в определенный период времени. Как правило, скорость вибрации очень чувствительна к неисправностям механических узлов в большом диапазоне частот;
- ✓ ускорение вибрации представляет собой скорость изменения скорости с течением времени и, в смысле диагностических возможностей, эффективно для обнаружения де-

фектов подшипников на ранней стадии, повреждения зубьев шестерен и явлений, связанных с ударами.

Как правило, выбранные алгоритмы анализа данных шума и вибрации во многом зависят от диагностических возможностей, табл. 2.

Таблица 2

Характеристики параметров вибрации для диагностики оборудования

Параметр вибрации	Диагностические возможности	Частотный диапазон
Смещение	Дисбаланс, проблемы с фундаментом	Низкие частоты (5...50 Гц)
Скорость	Общие механические неисправности	Средние частоты (50...1000 Гц)
Ускорение	Дефекты подшипников, зубьев шестерен	Высокие частоты (500...5000 Гц)

Для синусоидальной вибрации существуют четкие математические соотношения между параметрами:

$$\checkmark \text{ скорость } v = 2\pi f \times D,$$

$$\checkmark \text{ ускорение } a = (2\pi f)^2 \times D,$$

где  $f$  – частота (Гц),  $D$  – амплитуда смещения.

Для определения синусоидальной вибрации, определение виброскорости колебаний грунта на расстоянии  $r$ , м, от источника колебаний осуществляется по формуле<sup>23</sup>

$$v(r) = v(r_0) \times C \times D, \quad (1)$$

где  $v(r_0)$  – известная виброскорость колебания грунта на расстоянии  $r_0$  м, от оси ближнего железнодорожного пути, м/с;  $C$  – коэффициент геометрического ослабления;  $D$  – коэффициент демпфирования материала.

В интеллектуальных системах мониторинга применяются различные типы датчиков в зависимости от решаемых задач: абсолютные измерения вибрации соотносят амплитуду вибрации с фиксированной системой координат, обычно наземной или инерциальной системой отсчета. Сейсмические акселерометры и преобразователи скорости обеспечивают абсолютные измерения; относительные измерения вибрации сравнивают вибрацию одного компонента с другим движущимся компонентом. На основе этого, предложен алгоритм, с помощью которого можно построить интеллектуальную систему мониторинга, рис. 2.

В локомотивных приложениях инженеры обычно используют абсолютные измерения для большинства диагностических процедур, поскольку они предоставляют исчерпывающую информацию о движении компонентов и могут обнаруживать как механические, так и структурные проблемы [8].

Перспективным направлением является использование беспроводных сетей передачи данных и облачных технологий, которые позволяют создать правильную модель при учете возможности объединения информации от распределенных датчиков в единую систему анализа. Это создает основу для создания цифровых двойников железнодорожной инфраструктуры, позволяющих моделировать распространение шума и вибрации в различных условиях и оптимизировать мероприятия по их снижению [9].

В железнодорожной отрасли набирает обороты внедрение специализированного программного обеспечения для мониторинга шума и вибрации. Например, в ОАО «РЖД» для специалистов разработана программа «Эколог-Шум», которая помогает собирать и анализировать информацию с целью создания карт шума прилегающих к железной дороге зон. Создание шумовых карт значительно помогает создать и развивать системы монито-

<sup>2</sup> СП 441.1325800.2019 Защита зданий от вибрации, создаваемой железнодорожным транспортом. Правила проектирования

<sup>3</sup> ГОСТ Р ИСО 10137-2016 Основы расчета строительных конструкций. Эксплуатационная надежность зданий в условиях воздействия вибрации

ринга шума и вибрации [10]. Проведенный анализ показывает, что интеллектуальные системы мониторинга шума и вибрации от железнодорожного транспорта представляют собой перспективное направление повышения экологической безопасности и комфорта населения [11].



Рис. 2. Схема алгоритма работы интеллектуальной системы мониторинга виброакустического воздействия

Внедрение таких систем позволяет перейти от реактивного устранения последствий к проактивному управлению акустическим воздействием на основе данных непрерывного мониторинга и предиктивной аналитики. В отличие от традиционных подходов, предложенная концепция базируется на непрерывном мониторинге и предиктивной аналитике, что позволяет не фиксировать превышения нормативов, а прогнозировать и предотвращать их возникновение.

### Заключение.

Описаны диагностические возможности интеллектуальных систем применительно к задачам безопасности железнодорожного транспорта. Показано, что идентификация источников шума и вибрации на ранней стадии дефектообразования позволяет прогнозировать развитие аварийных ситуаций и перейти к обслуживанию инфраструктуры по фактическому состоянию, исключая практику ликвидации уже реализовавшихся отказов.

Определён и верифицирован перечень критических преимуществ, реализуемых средствами систем искусственного интеллекта: точная локализация и классификация источников генерации; установление причинно-следственных связей между параметрами движения, состоянием пути и уровнем эмиссии; оптимизация шумозащитных мероприятий на основе объективных данных; имитационное моделирование акустической обстановки при варьировании режимов эксплуатации.

Выделены три приоритетных вектора развития: интеграция систем мониторинга с цифровыми двойниками инфраструктуры, обеспечивающая сквозное прослеживание жизненного цикла объекта; разработка специализированных архитектур глубокого обучения для обработки гетерогенных потоков данных в реальном времени; создание адаптивных систем управления трением с обратной связью по акустическому каналу.

Представлен алгоритм работы интеллектуальной системы мониторинга виброакустического воздействия на железнодорожном транспорте. Его реализация направлена на

выявление возможных поврежденных компонентов, что обеспечивает мультипликативный эффект: сокращение эксплуатационных затрат за счёт предиктивного обслуживания; повышение качества жизни населения прилегающих территорий.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Озеров, А. В.** Современные системы технической диагностики и мониторинга на железнодорожном транспорте / А. В. Озеров, А. П. Куроптева // Наука и технологии железных дорог. – 2024. – Т. 8. – № 1(29). – С. 3-13.

2. **Садовников, Ю. В.** Цифровизация в обеспечении экологической безопасности: оценка влияния цифровых инструментов на мониторинг окружающей среды, управление экологическими рисками и устойчивое развитие / Ю. В. Садовников, С. В. Основин // Биотехнология: достижения и перспективы развития: сборник материалов VI международной научно-практической конференции, Пинск, 30 ноября 2023 года. – Пинск: Полесский государственный университет, 2023. – С. 276-279.

3. **Головина, Е. И.** Обеспечение безопасности труда при эксплуатации железнодорожного транспорта путем модернизации систем вибродемпфирующих накладок и рельсовых пластин / Е. И. Головина, Д. А. Соколов // Безопасность техногенных и природных систем. – 2023. – №1.

4. **Steinebrunner, F.** Intelligent wheel-rail conditioning can reduce noise and wear / Fabrizio Steinebrunner, Russell Hargrave // Railway Gazette International. – January 2024.

5. **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.

6. **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.

7. **Григорьев, А. В.** Способ бесконтактного трёхкомпонентного измерения вибрации / А. В. Григорьев, А. В. Затылкин, Н. К. Юрков // Измерительная техника. – 2016. – № 12. – С. 36-39.

8. **Губарев, П. В.** Усовершенствование технической диагностики локомотивов по фактическому состоянию / П. В. Губарев, А. С. Шапшал, Н. Н. Зинченко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 10. – С. 332-336.

9. **Мулик, Ф. Ф.** Создание интеллектуальных систем мониторинга и контроля оборудования в нефтегазовой промышленности для повышения эффективности и безопасности производств / Ф. Ф. Мулик // Вопросы природопользования. – 2025. – Т. 4. – № 2. – С. 8-19.

10. **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.

11. **Курепин, Д. Е.** Анализ уровней сверхнормативного шумового воздействия от железнодорожного транспорта / Д. Е. Курепин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2015. – № 1(42). – С. 34-40

*Поступила в редакцию 5 февраля 2026*

## SIMULATION OF NOISE AND VIBRATION MONITORING SYSTEMS IN RAILWAY TRANSPORT: THEORETICAL ASPECTS AND AN OVERVIEW OF CURRENT TECHNOLOGICAL SOLUTIONS

**E. I. Golovina, D. A. Sokolov, S. V. Artysenko, A. A. Pilosyan**

---

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

Dmitry Alekseevich Sokolov, graduate student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(928)305-30-77; e-mail: dmitriysokolov598@gmail.com

Stepan Vladimirovich Artysenko, 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

Arman Arturovich Pilosyan, master of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: ara-1001@mail.ru

---

The article presents theoretical aspects and an overview of technological solutions for monitoring noise and vibration from railway transport. It discusses the fundamentals of noise and vibration generation and propagation from railway transport. The article analyzes modern technological solutions for modeling intelligent monitoring, which are multi-level systems that include sensor networks, data transmission systems, analytics platforms, and visualization interfaces. We propose an algorithm for the operation of an intelligent system for monitoring vibroacoustic effects on railway transport. The key advantage of the algorithm is the diagnostic results, which identify the possible cause of vibroacoustic noise and indicate possible damage to components in the railway track or train. The implementation of intelligent monitoring systems for noise and vibration will reduce the costs of maintaining the track and rolling stock, and extend their service life by timely identifying the mechanisms of damage and eliminating defects.

**Keywords:** noise; vibration; railway transport; intelligent monitoring systems; technological solutions.

### REFERENCES

1. **Ozerov A. V., Kuropteva A. P.** *Modern systems of technical diagnostics and monitoring in railway transport.* Science and technology of railways. 2024. Vol. 8. No. 1(29). Pp. 3-13. (in Russian)
2. **Sadovnikov Yu. V., Osnovin S. V.** *Digitalization in ensuring environmental safety: assessment of the impact of digital tools on environmental monitoring, environmental risk management and sustainable development.* Biotechnology: achievements and development prospects. Collection of materials of the VI International Scientific and practical Conference, Pinsk, November 30 01, 2023. Pinsk. Polessky State University, 2023. Pp. 276-279. (in Russian)
3. **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. (in Russian)
4. **Fabrizio Steinebrunner, Russell Hargrave** *Intelligent wheel-rail conditioning can reduce noise and wear.* Railway Gazette International. January 2024. (in Russian)
5. **Sokolov D. A., Artysenko S. V., Golovina E. I.** *Mathematical modeling of zones of maximum noise and vibration effects of railway transport.* Housing and communal infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 108-117. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.012. (in Russian)
6. **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)

7. **Grigoriev A.V., Zatylnkin A.V., Yurkov N. K.** *Method of contactless three-component vibration measurement.* Measuring technology. 2016. No. 12. Pp. 36-39. (in Russian)

8. **Gubarev P. V., Shapshal A. S., Zinchenko N. N.** *Improvement of technical diagnostics of locomotives by actual condition.* Proceedings of Tula State University. Technical sciences. 2020. No. 10. Pp. 332-336. (in Russian)

9. **Mulik F.F.** *Creation of intelligent monitoring and control systems for equipment in the oil and gas industry to improve the efficiency and safety of production.* Environmental management issues. 2025. Vol. 4. No. 2. pp. 8-19. (in Russian)

10. **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)

11. **Kurepin D. E.** *Analysis of levels of excessive noise exposure from railway transport.* Proceedings of the St. Petersburg University of Railway Communications. 2015. No. 1 (42). Pp. 34-40. (in Russian)

*Received 5 February 2026*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

Моделирование систем мониторинга шума и вибрации на железнодорожном транспорте: теоретические аспекты и обзор актуальных технологических решений / Е. И. Головина, Д. А. Соколов, С. В. Артыщенко, А. А. Пилосян // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 1(36). – С. 94-102. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.010.

**FOR CITATION:**

**Golovina E. I., Sokolov D. A., Artyshenko S. V., Pilosyan A. A.** *Simulation of noise and vibration monitoring systems in railway transport: theoretical aspects and an overview of current technological solutions.* Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 1(36). Pp. 94-102. DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.010. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.011

УДК 62504.3.054

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРИДОРОЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДОРОГ РАЙОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

О. О. Иванова, А. О. Зимницкая, Н. М. Сергина, Н. В. Мензелинцева

Иванова Олеся Олеговна, магистрант кафедры «Безопасность жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве» ФГБОУ ВО «Институт Архитектуры и Строительства ВолГТУ», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(996)482-71-16; e-mail- [yri26@mail.ru](mailto:yri26@mail.ru)

Зимницкая Александра Олеговна, студент кафедры «Безопасность жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве», ФГБОУ ВО «Институт Архитектуры и Строительства ВолГТУ», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(904)402-33-45; e-mail- [ivanova200607@mail.ru](mailto:ivanova200607@mail.ru)

Сергина Наталия Михайловна, д-р техн. наук, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве» ФГБОУ ВО «Институт Архитектуры и Строительства ВолГТУ», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(902)097-87-04; e-mail- [sergina.nsergina@yandex.ru](mailto:sergina.nsergina@yandex.ru)

Мензелинцева Надежда Васильевна, д-р техн. наук, профессор кафедры «Экологии и природопользования» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный университет», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(902)314-23-07; e-mail- [menzelintseva@volsu.ru](mailto:menzelintseva@volsu.ru)

Представлено комплексное исследование запыленности воздушной среды придорожных территорий автомобильных дорог районного значения с учетом воздействия природных и антропогенных факторов на примере г. Волгограда. Основное внимание уделено анализу концентрации и распространения твердых взвешенных частиц, включая мелкодисперсную пыль с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм (PM10) и менее 2,5 мкм (PM2.5), представляющих наибольшую опасность для здоровья населения и состояния окружающей среды. В ходе исследования рассмотрены десять ключевых факторов, определяющих процессы образования, переноса и осаждения пыли, в том числе метеорологические параметры (скорость и направление ветра, температура и относительная влажность воздуха), характеристики дорожного покрытия, интенсивность и состав транспортного потока, а также типы эксплуатируемых транспортных средств. На основе экспериментальных и расчетных данных получены адекватные уравнения множественной линейной регрессии, позволяющие установить количественную зависимость концентрации твердых частиц от совокупности исследуемых факторов. Проведен сравнительный анализ степени влияния каждого фактора, выявлены наиболее значимые из них. Результаты исследования могут быть использованы при оценке экологической обстановки придорожных территорий и разработке мероприятий по снижению пылевого загрязнения.

**Ключевые слова:** запыленность воздушной среды; линейный город; автомобильный транспорт; загрязняющие вещества; мелкодисперсная пыль; метеорологические факторы.

Мелкодисперсные твердые частицы фракций PM10 и PM2.5 относятся к числу приоритетных загрязняющих компонентов атмосферного воздуха в условиях городской застройки и представляют потенциальную опасность для здоровья человека, состояния экосистем и уровня комфортности проживания населения [1]. Существенным источником формирования данных загрязнителей выступают автомобильные дороги районного значения, характеризующиеся повышенной транспортной нагрузкой и спецификой планировочной организации прилегающих территорий [2, 3]. К данной категории относятся улично-дорожные объекты с интенсивностью движения порядка 1000...2000 транспортных средств в час.

В пределах исследуемой территории города Волгограда к дорогам районного значения отнесены улицы Менжинского, Кастерина, Шурухина, Чистоозерная, Таращанцев,

Ангарская, Мира, Елецкая, Социалистическая, Циолковского и ряд других. Застройка прилегающих селитебных зон преимущественно сформирована многоквартирными жилыми домами высотой от трех до девяти этажей, а также индивидуальной жилой застройкой. Озеленение представлено газонно-защитными зонами с одно–трехрядными насаждениями древесно-кустарниковых пород, включая вяз мелколистный, пирамидальный тополь, клен канадский, сирень, бирючину обыкновенную, кизильник, барбарис и спирею. Покрытие большинства внутрирайонных улиц и проездов выполнено из асфальтобетона.

Формирование, перемещение и последующее осаждение мелкодисперсных твердых частиц обусловлены воздействием комплекса взаимосвязанных факторов, среди которых существенную роль играют метеорологические условия, состояние дорожного покрытия, технические и эксплуатационные характеристики транспортных средств, а также параметры городской застройки и интенсивность антропогенной нагрузки [4, 5]. При этом анализ существующих научных работ показывает, что вопросы комплексной оценки совокупного влияния указанных факторов на концентрацию мелкодисперсной пыли в зоне воздействия автомобильных дорог районного значения остаются недостаточно изученными.

Обобщение результатов исследований отечественных и зарубежных авторов, посвящённых оценке влияния автотранспортных выбросов на экологическое состояние городской среды и здоровье населения, свидетельствует о высокой значимости мелкодисперсных твердых частиц как антропогенного фактора риска. Частицы с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм (PM10) и менее 2,5 мкм (PM2.5) рассматриваются в качестве приоритетных индикаторов загрязнения атмосферного воздуха, оказывающих выраженное воздействие на качество городской среды и состояние здоровья населения [6...8].

В условиях плотной городской застройки автомобильный транспорт продолжает оставаться одним из основных источников образования мелкодисперсной пыли. Повышенная интенсивность движения, характерная для магистральных и районных дорог, способствует генерации частиц не только в результате выбросов выхлопных газов, но и вследствие абразивного износа дорожного покрытия, автомобильных шин и тормозных механизмов [9]. Существенное значение имеют и вторичные процессы, включая ресуспендирование ранее осевшей пыли под воздействием воздушных потоков, создаваемых движущимися транспортными средствами [10]. Установлено, что частицы PM10 и PM2.5 способны проникать в глубокие отделы дыхательной системы человека, вызывая развитие заболеваний органов дыхания и сердечно-сосудистой системы, а также повышая риск онкологических патологий. Наибольшую опасность представляют частицы фракции PM2.5, способные достигать альвеолярного уровня и проникать в системный кровоток, инициируя воспалительные процессы [11]. Результаты гигиенических исследований подтверждают наличие устойчивой корреляции между повышенными концентрациями мелкодисперсной пыли и ростом показателей заболеваемости, особенно среди уязвимых групп населения – детей, лиц пожилого возраста и пациентов с хроническими заболеваниями органов дыхания [7, 12].

В работах российских исследователей [1...11] особое внимание уделяется влиянию локальных метеорологических условий (скорость и направление ветра, уровень влажности, температурный режим) и особенностей городской застройки на процессы рассеивания и осаждения частиц. Зарубежные публикации [12...14] в большей степени акцентируют внимание на технических характеристиках транспортных средств – типе двигателя (дизельный, бензиновый, электрический), составе топлива и эффективности очистки выхлопов [7, 12].

Выбор концентрации мелкодисперсных твердых частиц в атмосферном воздухе в качестве объекта исследования обусловлен тем, что данный показатель относится к числу нормируемых и подлежит государственному регулированию. Это, в свою очередь, создает

предпосылки для разработки и практической реализации мероприятий, направленных на снижение уровней PM10 и PM2.5 в воздушной среде городских территорий.

Целью настоящей работы является комплексное исследование зависимости концентраций мелкодисперсной пыли фракций PM2.5 и PM10, а также суммарной концентрации твердых взвешенных частиц (Робщ) в атмосферном воздухе примагистральных зон автомобильных дорог районного значения от совокупного воздействия десяти определяющих факторов, включающих параметры транспортной нагрузки и метеорологические характеристики.

Исследование направлено на оценку запыленности воздушной среды придорожных территорий, выявление степени влияния каждого из факторов на формирование уровней загрязнения, а также на обоснование возможных мер по снижению негативного воздействия пылевого загрязнения на состояние атмосферного воздуха и здоровье населения. Полученные результаты могут быть использованы при совершенствовании систем управления качеством атмосферного воздуха, планировании транспортной инфраструктуры и снижении антропогенной нагрузки в условиях урбанизированных территорий.

Для достижения поставленной цели в работе были сформулированы и решены следующие задачи.

*Первая группа задач* была связана со сбором и обработкой экспериментальных данных и включала проведение измерений концентраций PM2.5, PM10 и Робщ ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) на ряде характерных участков дорог районного значения с применением современных методов исследования, в том числе гравиметрических, оптических и химических.

*Вторая группа задач* была направлена на анализ влияния основных факторов, определяющих уровень загрязнения атмосферного воздуха. В частности, исследовалась зависимость концентраций PM2.5, PM10 и Робщ от следующих параметров: протяженности исследуемого участка  $L$  (км), интенсивности движения легкового ( $J_1$ , авт/ч) и грузового транспорта ( $J_2$ , авт/ч), средней скорости транспортного потока  $Va$  (км/ч), продольного уклона проезжей части  $\alpha$  ( $^\circ$ ), относительной влажности воздуха  $\varphi$  (%), температуры воздуха  $t$  ( $^\circ\text{C}$ ), скорости ветра  $Vv$  (м/с), направления ветра относительно оси дороги  $\theta$  ( $^\circ$ ) и атмосферного давления  $Q$  (мм рт. ст.). Оценка вклада каждого фактора выполнялась с использованием методов корреляционного и множественного регрессионного анализа.

Реализация указанных задач позволит углубить представления о закономерностях формирования концентраций мелкодисперсной пыли в условиях городской застройки и создать основу для разработки практических рекомендаций по снижению антропогенного воздействия на население и элементы городской экосистемы, что способствует повышению экологической устойчивости и качества жизни в городах.

Исходная информация была сформирована на основе результатов натурных измерений, выполненных на территории города Волгограда в весенне-летний период при сухих и ясных погодных условиях. Объем репрезентативной выборки составил 35 измерений. Значения концентраций пыли были приведены к долям предельно допустимой концентрации (ПДК).

В ходе исследования были получены эмпирические зависимости концентраций PM2.5 ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ), PM10 ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) и общей концентрации твердых частиц Робщ ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) от десяти ключевых факторов, определяющих уровень загрязнения атмосферного воздуха вблизи автомобильных дорог районного значения.

Статистическая обработка экспериментальных данных методом наименьших квадратов позволила получить уравнения множественной линейной регрессии, с помощью которых было выполнено количественное описание влияния каждого из исследуемых факторов на уровень пылевого загрязнения. Использование линейной регрессионной модели обосновано результатами предварительного анализа, показавшего преимущественно линейный характер связей между переменными [15]. Значимость коэффициентов регрессии оценивалась с применением  $t$ -критерия Стьюдента при уровне значимости  $p = 0,05$ . Для

каждого уравнения был рассчитан множественный коэффициент корреляции, характеризующий степень взаимосвязи зависимой переменной с совокупностью факторов, а проверка адекватности моделей осуществлялась по критерию Фишера.

Полученные линейные уравнения регрессии с учетом только значимых факторов приведены в таблице, где  $x_2$  – интенсивность движения транспорта, авт/ч;  $x_3$  – средняя скорость потока, км/ч;  $x_4$  – доля легкового транспорта, %;  $x_5$  – влажность воздуха, %;  $x_6$  – скорость ветра, м/с;  $x_7$  – расстояние от края проезжей части, м.

Линейные уравнения множественной регрессии, характеризующие концентрацию пыли в атмосферном воздухе придорожных территорий для дорог районного значения

Параметр оптимизации	Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции $R$
Концентрация пыли $PM_{2,5}$	$Y_1 = 0,079068 + 0,005877x_2 + 0,005484x_4 - 0,005957x_5 - 0,004731x_6$	0,86
Концентрация пыли $PM_{10}$	$Y_2 = 0,366358 - 0,011324x_3 - 0,129965x_6 - 0,013257x_7$	0,97
Концентрация пыли Робщ	$Y_3 = 0,299002 - 0,018594x_2 - 0,022096x_3 + 0,023901x_4 - 0,064491x_6$	0,92

Полученные зависимости имеют практическую значимость для разработки мероприятий по управлению качеством атмосферного воздуха в городской среде. В частности, оптимизация скоростных режимов и перераспределение транспортных потоков могут способствовать снижению уровней  $PM_{2,5}$ , тогда как применение мероприятий по влажной очистке дорожного покрытия и развитие системы озеленения примагистральных территорий являются эффективными мерами по сокращению концентраций  $PM_{10}$  и общей запыленности. Учет метеорологических условий, включая скорость и направление ветра, создает предпосылки для прогнозирования периодов повышенного загрязнения и внедрения адаптивных управленческих решений, таких как временные ограничения движения отдельных категорий транспортных средств.

### Заключение.

Установлена совокупность факторов, оказывающих статистически значимое влияние на уровень загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными твердыми частицами на придорожных территориях автомобильных дорог районного значения. В результате анализа выявлено, что для концентрации частиц фракции  $PM_{2,5}$  наибольшее значение имеют интенсивность движения легкового транспорта, средняя скорость транспортного потока, продольный уклон проезжей части и относительная влажность воздуха. Формирование концентраций частиц  $PM_{10}$  в большей степени определяется интенсивностью движения грузовых автомобилей, а также параметрами метеорологической обстановки, прежде всего относительной влажностью и температурой воздуха. Для суммарной концентрации твердых частиц (Робщ) определяющее влияние оказывают интенсивность движения как легкового, так и грузового транспорта, средняя скорость движения и влажность атмосферного воздуха.

Анализ полученных результатов показал, что степень и характер воздействия отдельных факторов на концентрации  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  и Робщ существенно различаются, что обусловлено физико-химическими свойствами частиц и особенностями механизмов их образования и переноса. Для мелкодисперсных частиц  $PM_{2,5}$  более выражена роль метеорологических условий и параметров транспортного потока, тогда как для частиц более крупной фракции и суммарной пыли доминируют факторы, связанные с интенсивностью и режимами движения транспорта.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормирование PM10 и PM2,5 как социальный стандарт качества жизни в районах расположения предприятий стройиндустрии / В. Н. Азаров, И. В. Тертишников, Н. А. Маринин // *Жилищное строительство*. – 2012. – № 3. – С. 20-23.
2. **Азаров, В. Н.** Повышение экологической безопасности стройиндустрии совершенствованием систем обеспыливания с использованием комплексного дисперсионного анализа пылевых выбросов / В. Н. Азаров, С. А. Кошкарев // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: *Строительство и архитектура*. – 2016. – Вып. 43(62). – С. 161-174.
3. **Макарова, Н. В.** Статистика в Excel: учебное пособие / Н. В. Макарова, В. Я. Трофимец – Москва: Финансы и статистика, 2006. – 368 с.
4. **Иванова, Ю. П.** Dispersion analysis of carbon monoxide concentrations in the cities atmospheric air // Е. А. Соколова, В. Н. Азаров, Е. В. Мартынова // *E3S Web of Conferences*. – 2019. – Vol. 138.
5. **Ганжа, О. А.** Оценка факторов антропогенного воздействия на экологическое состояние урбанизированных территорий / О. А. Ганжа, Ю. П. Иванова // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: *Строительство и архитектура*. – 2012. – Вып. 27(46). – С. 187-189.
6. **Азаров, В. Н.** Исследование скорости оседания кремниевой пыли методом VFB / В. Н. Азаров, Д. Р. Добринский, А. А. Сахарова // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: *Строительство и архитектура*. – 2020. – Вып. 4 (81). – С. 127-138.
7. **Сахарова, А. А.** Исследование особенностей органогенных минералов как источника пылевого загрязнения воздушной среды / А. А. Сахарова // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: *Строительство и архитектура*. – 2019. – Вып. 2 (75). – С. 215-223.
8. Зависимость концентрации мелкодисперсной пыли на бордюре проезжей части от воздействия внешних факторов / О. П. Сидельникова, Ю. П. Иванова, О. О. Иванова, А. А. Сахарова, Р. А. Лясин, М. Д. Азарова // *Инженерный вестник Дона*. – 2022. – № 9.
9. Основные факторы, влияющие на концентрацию мелкодисперсной пыли на придорожных территориях линейного города / Ю. П. Иванова, Т. В. Соловьева, А. А. Сахарова, О. О. Иванова, Д. М. Лепехина, О. П. Сидельникова // *Инженерный вестник Дона*. – 2022. – № 8.
10. Проверка применимости закона распределения мелкодисперсной пыли для различных категорий дорог / Ю. П. Иванова, Е. О. Брызгина, Т. В. Соловьева, А. А. Сахарова, О. О. Иванова, М. Д. Азарова // *Инженерный вестник Дона*. – 2022. – № 9.
11. **Сахарова, А. А.** Исследование аэродинамических и физико-химических характеристик пыли опоки, применяемых в строительстве / А. А. Сахарова, В. Н. Азаров // *Строительство и реконструкция*. – 2019. – № 2(82). – С. 106-115.
12. **Pope, С. А.** Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect / С. А. Pope, D. W. Dockery // *Journal of the Air & Waste Management Association*. – 2006. – Vol. 56. – № 6. – Pp. 709-742. – DOI: 10.1080/10473289.2006.10464485.
13. **Seinfeld, J. H.** Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change / J.H. Seinfeld, S.N. Pandis. – Hoboken: Wiley, 2016. – 1120 p.
14. **Zhang, K.** Air pollution and health risks due to vehicle traffic / K. Zhang, S. Batterman // *Science of the Total Environment*. – 2013. – Vol. 450-451. – Pp. 307-316. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.074.
15. **Семенов, М. Ю.** Экологические аспекты пылевого загрязнения вблизи городских магистралей / М. Ю. Семенов, Е. Л. Иванова // *Вестник МГТУ*. – 2022. – Т. 25. – № 2. – С. 89-97.

Поступила в редакцию 16 февраля 2026

## STUDY OF DUST CONTAMINATION OF THE AIR ENVIRONMENT IN ROADSIDE AREAS OF DISTRICT ROADS

**O. O. Ivanova, A. O. Zimnitskaya, N. M. Sergina, N. V. Menzelintseva**

Olesya Olegovna Ivanova, Master's student of the Department of Life Safety in Construction and Urban Economy, Institute of Architecture and Construction of VolGTU, Volgograd, Russia, tel.: +7(996)482-71-16; e-mail: ypi26@mail.ru

Alexandra Olegovna Zimnitskaya, student of the Department of Life Safety in Construction and Urban Economy, Institute of Architecture and Construction of VolGTU, Volgograd, Russian Federation, tel.: +7(904)402-33-45; e-mail: ivanova200607@mail.ru

Natalia Mikhailovna Sergina, Dr. Sc. (Tech.), Professor of the Department of Life Safety in Construction and Urban Economy, Institute of Architecture and Construction of VolGTU, Volgograd, Russia, tel.: +7(902)097-87-04; e-mail: sergina.nsergina@yandex.ru

Nadezhda Vasilyevna Menzelintseva, Dr. Sc. (Tech.), Professor of the Department of Ecology and Nature Management, Volgograd State University, Volgograd, Russia, tel.: +7(902)314-23-07; e-mail: menzelintseva@volsu.ru

The article presents a comprehensive study of the dustiness of the air environment in roadside areas of highways of regional significance, taking into account the effects of natural and anthropogenic factors using the example of Volgograd-city. The main attention is paid to the analysis of the concentration and distribution of suspended solids, including fine dust with an aerodynamic diameter of less than 10 microns (PM10) and less than 2.5 microns (PM2.5), which pose the greatest danger to public health and the environment. The study examined ten key factors determining the processes of dust formation, transport and deposition, including meteorological parameters (wind speed and direction, temperature and relative humidity), characteristics of the road surface, the intensity and composition of traffic flow, as well as the types of vehicles operated. Based on experimental and calculated data, we obtained adequate equations of multiple linear regression, which make it possible to establish a quantitative dependence of the concentration of solid particles on the totality of the studied factors. We analyzed the degree of influence of each factor, and identified the most significant ones of them. The results of the study can be used in assessing the environmental situation of roadside areas and developing measures to reduce dust pollution.

**Keywords:** dustiness of the air environment; linear city; automobile transport; pollutants; fine dust; meteorological factors.

### REFERENCES

1. **Azarov V. N., Tertishnikov I. V., Marinin N. A.** *Standardization of PM10 and PM2.5 as a social standard of quality of life in areas of construction industry enterprises location.* Housing Construction. 2012. No. 3. Pp. 20-23. (in Russian)
2. **Azarov V. N., Koshkarev S. A.** *Improving environmental safety of the construction industry by improving dust suppression systems using complex dispersion analysis of dust emissions.* Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2016. Issue 43(62). Pp. 161-174. (in Russian)
3. **Makarova N. V., Trofimets V. Ya.** *Statistics in Excel.* Moscow, Finance and Statistics. 2006. 368 p. (in Russian)
4. **Ivanova Yu. P., Sokolova E. A., Azarov V. N., Martynova E. V.** *Dispersion analysis of carbon monoxide concentrations in the atmospheric air of cities.* E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 138. International Scientific Conference.
5. **Ganzha O. A., Ivanova Yu. P.** *Assessment of anthropogenic impact factors on the ecological state of urbanized territories.* Bulletin of Volgograd State University of Architecture and

Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2012. Issue 27(46). Pp. 187-189. (in Russian)

6. **Azarov V. N., Dobrinsky D. R., Sakharova A. A.** *Study of the sedimentation velocity of silica dust using the VFB method.* Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2020. Issue 4(81). Pp. 127-138. (in Russian)

7. **Sakharova A. A.** *Study of the features of organogenic minerals as a source of dust pollution of the air environment.* Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2019. Issue 2(75). Pp. 215-223. (in Russian)

8. **Sidelnikova O. P., Ivanova Yu. P., Ivanova O. O., Sakharova A. A., Lyasin R. A., Azarova M. D.** *Dependence of fine dust concentration at the roadway curb on the impact of external factors.* Engineering Bulletin of the Don. 2022. No. 9. 7 p.

9. **Ivanova Yu. P., Solovieva T. V., Sakharova A. A., Ivanova O. O., Lepekhina D. M., Sidelnikova O. P.** *Main factors influencing the concentration of fine dust in roadside territories of a linear city.* Engineering Bulletin of the Don. 2022. No. 8. 8 p. (in Russian)

10. **Ivanova Yu. P., Bryazgina E. O., Solovieva T. V., Sakharova A. A., Ivanova O. O., Azarova M. D.** *Verification of the applicability of the fine dust distribution law for various road categories.* Engineering Bulletin of the Don. 2022. No. 9. 11 p. (in Russian)

11. **Sakharova A. A., Azarov V. N.** *Study of aerodynamic and physicochemical characteristics of opoka dust used in construction.* Construction and Reconstruction. 2019. No. 2(82). Pp. 106-115. (in Russian)

12. **Pope C. A., Dockery D. W.** *Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect.* Journal of the Air & Waste Management Association. 2006. Vol. 56. No. 6. Pp. 709–742. DOI: 10.1080/10473289.2006.10464485.

13. **Seinfeld J. H., Pandis S. N.** *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change.* Hoboken, Wiley. 2016. 1120 p.

14. **Zhang K., Batterman S.** *Air pollution and health risks due to vehicle traffic.* Science of the Total Environment. 2013. Vol. 450-451. Pp. 307-316. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.074.

15. **Semenov M. Yu., Ivanova E. L.** *Environmental aspects of dust pollution near urban highways.* Bulletin of MSTU. 2022. Vol. 25. No. 2. Pp. 89–97. (in Russian)

Received 16 February 2026

#### ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Исследование запыленности воздушной среды придорожных территорий дорог районного назначения / О. О. Иванова, А. О. Зимницкая, Н. М. Сергина, Н. В. Мензелинцев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 1(36). – С. 103-109. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.011.

#### FOR CITATION:

**Ivanova O. O., Zimnitskaya A. O., Sergina N. M., Menzelintseva N. V.** *Study of dust contamination of the air environment in roadside areas of district roads.* Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 1(36). Pp. 103-109. DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.011. (in Russian)

## **ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА** **ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION**

DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.012

УДК 330.34 (1-21)

### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОМФОРТНОСТИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МОСКВЫ**

**И. К. Хасан, В. И. Прусова, М. А. Жидкова, Л. И. Артанова**

Хасан Ибра Камаладдиновна, магистрант кафедры «Экономика дорожного-хозяйства», ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Москва, Российская Федерация, тел.: +7(915)376-58-84; e-mail: archive@madi.ru

Прусова Вера Ивановна, канд. экон. наук, доцент кафедры «Экономика дорожного-хозяйства», ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Москва, Российская Федерация, тел.: +7(903)177-05-48; e-mail: archive@madi.ru

Жидкова Маргарита Анатольевна, канд. экон. наук, доцент кафедры «Экономика дорожного-хозяйства», ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Москва, Российская Федерация, тел.: +7(910)457-22-75; e-mail: zhidkova m\_a\_@mail.ru

Артанова Людмила Ивановна, старший преподаватель кафедры «Экономика и финансы», ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Москва, Российская Федерация, тел.: +7(903)525-79-68; e-mail: livart@mail.ru

Исследуется роль комфортной городской среды как ключевого драйвера экономического роста на примере города Москвы. Рассматривается трансформация столицы из мегаполиса с акцентом на решение инфраструктурных проблем в городе, ориентированной на человеко-центричный подход. Анализируются ключевые проекты в сферах транспорта, благоустройства общественных пространств, цифровизации и жилищной политики, реализованные в период с 2020 по 2025 годы. С помощью статистических данных, таблиц и графиков демонстрируется прямая корреляция между инвестициями в комфортную среду и такими экономическими показателями, как рост валового регионального продукта (ВРП), увеличение налоговых поступлений, приток инвестиций, развитие малого и среднего бизнеса, а также повышение производительности труда. Статья доказывает, что стратегические вложения в качество жизни являются не статьей расходов, а мощным инструментом экономического развития.

**Ключевые слова:** комфортная городская среда; экономический рост; Москва; логистика; общественные пространства; ВРП; инвестиции; малый и средний бизнес.

В условиях глобальной экономики города конкурируют не только за капитал, но и за человеческие ресурсы. Квалифицированные специалисты, предприниматели и инвесторы всё чаще выбирают для жизни и работы территории с высоким качеством жизни. В этом контексте комфортная городская среда перестаёт быть абстрактной концепцией и становится материальным активом, напрямую влияющим на экономические показатели [1...3]. Данный тезис подтверждается рядом исследований, посвященных взаимосвязи качества городской среды и экономического роста регионов [2...4]. Например, в работе А. И. Татаркина и Н. В. Левкина [3] комфортность городской среды рассматривается как ключевой фактор конкурентоспособности региона. Аналогичные выводы содержатся в исследованиях М. Ю. Малкиной [4], посвященных влиянию инвестиций в городскую среду на экономический рост.

Москва за последние годы совершила значительный рывок в преобразовании своей городской среды. Акцент сместился с экстенсивного расширения на интенсивное разви-

тие, от решения транспортных коллапсов – к созданию интегрированной логистической системы, от точечного благоустройства – к комплексному преобразованию общественных пространств. Период 2020...2025 годов особенно показателен: несмотря на глобальные вызовы, город продолжил системную работу, что позволило получить репрезентативные данные для анализа [5].

Транспортная система – важнейшая составляющая экономики города. Неэффективная логистика напрямую ведет к потерям времени, увеличению издержек бизнеса и снижению производительности. Влияние транспортной инфраструктуры на логистические издержки бизнеса в крупных городах также детально проанализировано в работе П.П. Яковлева [6].

Ключевые проекты Москвы в сфере развития транспортной системы (2020...2025 гг.):

✓ Развитие Московского центрального кольца (МЦК) и Московских центральных диаметров (МЦД): интеграция железнодорожного транспорта в городскую систему, создание полицентричной модели города.

✓ Расширение сети метрополитена: строительство новых станций и линий в отдаленные районы, повышение доступности.

✓ Интеллектуальная транспортная система (ИТС): адаптивное светофорное регулирование, управление потоками в реальном времени.

✓ Развитие экологичного транспорта: каршеринг, сервисы такси, велоинфраструктура и электротранспорт.

Согласно исследованиям С. Ю. Глазьева и В. В. Иванова [7], сокращение среднего времени поездки по городу напрямую влияет на производительность труда. Согласно их оценкам, один час, сэкономленный сотрудником в пути, может быть конвертирован в 0,5...1 час эффективной работы [7]. Эмпирическая оценка влияния развития транспортной системы Москвы на ключевые логистические показатели представлена в табл. 1, составленной на основе анализа статистических данных и выводов исследований [5...7].

Таблица 1

Влияние развития транспортной системы на логистические показатели Москвы (2020... 2025 гг.) \*

Показатель	2020 г.	2025 г. (прогноз/итог)	Изменение	Эффект от влияния показателя
Средняя скорость движения	45 км/ч	48/52 км/ч	+15,5 %	Снижение логистических издержек для бизнеса на 8...12 %
Пассажиропоток МЦК/МЦД (средне-суточный)	1,8 млн	2,4/2,7 млн	+50 %	Разгрузка метро и наземного транспорта, рост мобильности населения
Количество поездок каршерингом/такси в день	500 тыс.	800/900 тыс.	+80 %	Рост смежных отраслей (ИТ, телематика), создание новых рабочих мест
Доля граждан, тратящих на дорогу >1,5 часа в день	35 %	28/25 %	-10 п.п.	Условное высвобождение ~500 тыс. человеко-часов в день

Примечание: таблица составлена по данным источников:

✓ Департамент транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы. (2025).

✓ Годовой отчет о развитии транспортной системы Москвы за 2020-2025 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://transport.mos.ru> (дата обращения: 20.12.2025).

Согласно упрощенному расчету экономии времени, выполненному на основе методологии, применяемой в исследованиях человеческого развития [5], если 1 млн. человек

ежедневно экономят 20 минут на дороге, это приводит к ежедневной экономии в 20 млн. минут, что эквивалентно примерно 333 тысячам человеко-часов, и при условной средней часовой стоимости труда в 700 рублей ежедневная экономия составляет 233 млн рублей, достигая годового значения в 58,25 млрд рублей за 250 рабочих дней, что представляет собой прямой вклад в экономику через повышение производительности. Динамика средней скорости движения транспорта в Москве в период с 2020 по 2025 год, иллюстрирующая этот тренд, представлена на рис. 1.



Рис. 1. Динамика средней скорости движения транспорта в Москве (км/ч), 2020...2025 гг. [5]

График иллюстрирует стабильный рост скорости, несмотря на увеличение автомобильного парка.

Благоустройство общественных пространств, создание комфортных парков, набережных, пешеходных зон (таких как Парк «Зарядье», обновленная Москва-река, благоустроенные дворы) – это инвестиции, которые многократно окупаются.

Экономические механизмы воздействия благоустройства на малый бизнес, подробно изученные в работах [8, 9], включают: во-первых, рост пешеходного потока непосредственно увеличивает выручку расположенных поблизости предприятий розничной торговли и сферы обслуживания (отелей, ресторанов, кафе); во-вторых, повышение стоимости недвижимости в благоустроенных районах расширяет налогооблагаемую базу; в-третьих, стимулирование предпринимательской деятельности через создание спроса на новые услуги, такие как прокат велосипедов, уличная торговля продуктами питания, экскурсионное обслуживание и проведение мероприятий [8, 9]. Детальная оценка влияния программы благоустройства на показатели малого бизнеса в прилегающих территориях за период 2021...2025 годов, проведенная с использованием методик, описанных Н. В. Зубаревич [2], систематизирована в табл. 2. Мультипликативный эффект от подобных проектов также был исследован Д. Ю. Федотовым и Л.В. Мельниковой [9].

Количественный анализ подтверждает значительный мультипликативный эффект от программ благоустройства – количество вновь созданных малых предприятий в сфере услуг в реновированных районах превысило средний городской показатель на 18 %, а поступления в городской бюджет от аренды коммерческой недвижимости в зонах комплексного благоустройства возросли приблизительно на 35 %, что согласуется с выводами работы Зубаревича Н. В. [2].

Таблица 2

Влияние программы благоустройства на показатели малого бизнеса в прилегающих зонах (сравнение до и после реновации, данные за 2021...2025 гг.)\*

Общественное пространство (пример)	Рост пешеходного потока (%)	Рост выручки кафе и ресторанов (%)	Рост количества малых бизнес-единиц, шт.	Примечание (типы преобладающего нового бизнеса)
Набережная Москва-реки (р-н Хамовники)	120 %	85 %	+40	кофейни, прокаты, гастрономия
Парк «Остров Мечты»	-	-	+150	магазины розничной торговли «ритейл», общепит, развлечения
Пешеходная зона ул. Рождественка	65 %	55 %	+25	кафе, магазины, услуги

Примечание: таблица составлена по данным источника: Аналитический центр при Правительстве Москвы. (2025). Мониторинг эффективности программ благоустройства и цифровизации городской среды. – Москва: АЦ Москвы. – 120 с.

Внедрение цифровых платформ («Активный гражданин», «Наш город», портал mos.ru) и интеллектуальных технологий в рамках концепции «умные остановки, датчики ЖКХ» способствует значительному снижению операционных издержек для граждан и бизнеса, что проявляется в трех ключевых аспектах, описанных в исследованиях по цифровой трансформации городов [10, 11]:

✓ сокращение временных затрат: решение вопросов через электронные сервисы вместо личных визитов.

✓ повышение эффективности управления городом: данные с датчиков позволяют оптимизировать маршруты уборки, расход энергоресурсов, что ведет к прямой экономии бюджетных средств [10, 11].

✓ формирование новой ИТ-экосистемы: спрос на городские цифровые решения стимулирует рост компаний, работающих в сфере технологий для государственного управления.

В частности, А. А. Ситникова [11] оценивает "умный город" как драйвер экономического развития, а А. В. Капустин и Е. Н. Смирнов [10] предлагают методику оценки экономического эффекта от цифровизации. Оценка экономии бюджетных средств за счёт цифровизации процессов (2020...2025 гг.), выполненная с учетом данных подходов, представлена в табл. 3.

Таблица 3

Экономия бюджетных средств за счет цифровизации процессов (2020...2025 гг.)\*

Направление	Эффект (кумулятивно за 5 лет)
Внедрение умных систем освещения	Снижение расходов на электроэнергию на ~4,5 млрд руб.
Оптимизация логистики вывоза ТКО по данным датчиков	Сокращение расходов на 10-15% (около ~3 млрд руб.)
Перевод госуслуг в электронный формат	Экономия бюджетных средств на административные издержки ~12 млрд руб.

Примечание: таблица составлена по данным источника: Аналитический центр при Правительстве Москвы. (2025). Мониторинг эффективности программ благоустройства и цифровизации городской среды. – Москва: АЦ Москвы. – 120 с.

Совокупное влияние преобразований городской среды находит непосредственное отражение в макроэкономических показателях развития Москвы, что соответствует теоре-

тическим основам региональной экономики [1]. Динамика валового регионального продукта и прямых иностранных инвестиций за период 2020...2025 годов, построенная на основе официальной статистики и анализа, проведенного в работах [1, 4], наглядно представлена на рис. 2.

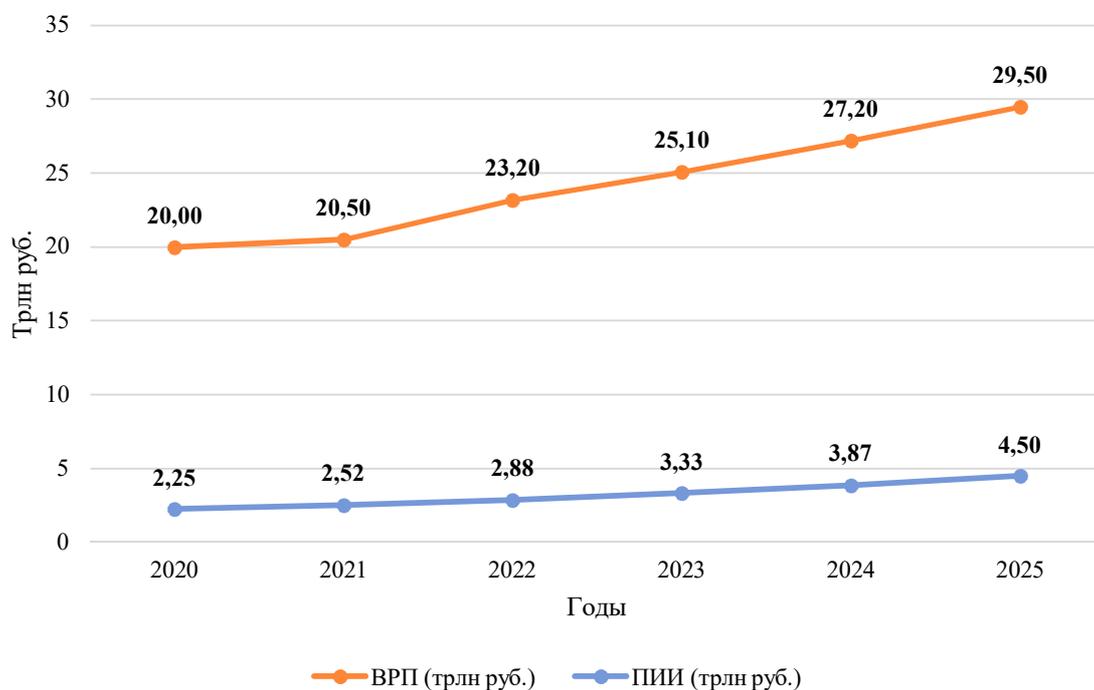


Рис. 2. Динамика валового регионального продукта (ВРП) Москвы и прямых иностранных инвестиций (ПИИ), трлн руб. (2020...2025 гг.) [1, 4]

Согласно экспертным оценкам, приведенным в исследованиях [1, 3], факторы, непосредственно связанные с улучшением городской среды – развитие логистики, повышение качества жизни и приток квалифицированных специалистов – ежегодно добавляют от 0,8 до 1,2 процентных пункта к росту валового регионального продукта Москвы [1, 3], что при объеме валового регионального продукта (ВРП) около 30 триллионов рублей составляет дополнительно 240...360 миллиардов рублей ежегодного экономического роста.

### Заключение.

Проведенный анализ демонстрирует, что стратегия Москвы, направленная на создание комфортной, удобной и технологичной городской среды, является экономически обоснованной и высокоэффективной.

Показано, что инвестиции в транспортную логистику, общественные пространства и цифровую инфраструктуру не просто улучшают качество жизни москвичей, но и создают мощные драйверы экономического развития.

Проведенный анализ показал, что инвестиции имеют мультипликационный эффект: снижают системные издержки бизнеса (логистика, время); стимулируют предпринимательскую активность и создание новых работ; повышают привлекательность города для высококвалифицированных кадров и крупных инвестиций; увеличивают доходную часть городского бюджета за счет роста налоговых поступлений.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гранберг, А. Г. Основы региональной экономики: учебник для вузов / А. Г. Гранберг. – 4-е изд. – Москва: ГУ ВШЭ, 2018. – 495 с.

2. **Зубаревич, Н. В.** Развитие городской среды и экономический рост: региональный аспект / Н. В. Зубаревич // Вопросы экономики. – 2022. – № 5. – С. 104-120.
3. **Татаркин, А. И.** Комфортность городской среды как фактор конкурентоспособности региона / А. И. Татаркин, Н. В. Левкин // ЭКО. – 2023. – № 1(571). – С. 8-29.
4. **Малкина, М. Ю.** Влияние инвестиций в человеческий капитал и городскую среду на экономический рост региона / М. Ю. Малкина // Региональная экономика: теория и практика. – 2022. – Т. 20. – № 3(510). – С. 483-506.
5. Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации за 2024 год / под редакцией Л. М. Григорьева. – Москва: Аналитический центр при Правительстве РФ, 2024. – 200 с.
6. **Яковлев, П. П.** Транспортная инфраструктура и логистические издержки в экономике крупного города / П. П. Яковлев // Логистика и управление цепями поставок. – 2022. – № 3(104). – С. 22-35.
7. **Глазьев, С. Ю.** Влияние транспортной доступности на производительность труда в мегаполисе / С. Ю. Глазьев, В. В. Иванов // Экономика мегаполисов. – 2023. – № 4(67). – С. 45-58.
8. **Колосницына, М. Г.** Качество жизни населения и пространственное развитие экономики / М. Г. Колосницына, В. Н. Хоршева // Народонаселение. – 2021. – № 3. – С. 70-84.
9. **Федотов, Д. Ю.** Оценка мультипликативного эффекта от благоустройства общественных пространств / Д. Ю. Федотов, Л. В. Мельникова // Вестник университета. – 2024. – № 1. – С. 87-95.
10. **Капустин, А. В.** Цифровая трансформация города: оценка экономического эффекта / А. В. Капустин, Е. Н. Смирнов // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 31-48.
11. **Ситникова, А. А.** «Умный город» как драйвер экономического развития: оценка эффективности / А. А. Ситникова // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 1. – № 2(122). – С. 15-24.

*Поступила в редакцию 16 января 2026*

## **ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE URBAN ENVIRONMENT COMFORT ON ECONOMIC GROWTH USING THE EXAMPLE OF THE CITY OF MOSCOW**

**I. K. Khasan, V. I. Prusova, M. A. Zhidkova, L. I. Artanova**

---

Isra Kamaladdinovna Khasan, Master's student at the Department of Road Economics, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, tel.: +7(915)376-58-84; e-mail: archive@madi.ru

Vera Ivanovna Prusova, Cand. Sc. (Economics), Associate Professor at the Department of Road Economics, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, tel.: +7(903)177-05-48; e-mail: archive@madi.ru

Margarita Anatol'evna Zhidkova, Cand. Sc. (Economics), Associate Professor at the Department of Road Economics, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, tel.: +7(910)457-22-75; e-mail: zhidkova\_m\_a@mail.ru

Lyudmila Ivanovna Artanova, Senior Lecturer at the Department of Economics and Finance, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, tel.: +7(903)525-79-68; e-mail: livart@mail.ru

---

This article explores the role of a comfortable urban environment as a key driver of economic growth, using the example of the city of Moscow. It examines the transformation of the capital from a megalopolis focused on solving infrastructure problems to a city that prioritizes a human-centered approach. The article analyzes key projects in transportation, public

space improvement, digitalization, and housing policy implemented between 2020 and 2025. Using statistical data, tables, and graphs, the article demonstrates a direct correlation between investments in a comfortable environment and economic indicators such as growth in the Gross Regional Product (GRP), increased tax revenues, investment inflows, the development of small and medium-sized businesses, and increased labor productivity. The article proves that strategic investments in the quality of life are not an expense, but a powerful tool for economic development.

**Keywords:** comfortable urban environment; economic growth; Moscow-city; logistics; public spaces; GRP; investments; small and medium-sized businesses.

## REFERENCES

1. **Granberg A. G.** *Fundamentals of regional economics: a textbook for universities*. Moscow. Higher School of Economics. 2018. 495 p. (in Russian)
2. **Zubarevich N. V.** *Urban environment development and economic growth: a regional aspect*. Economic issues. 2022. No. 5. Pp. 104-120. (in Russian)
3. **Tatarkin A. I., Levkin N. V.** *Comfort of the urban environment as a factor of competitiveness of the region*. ECO. 2023. No. 1(571). Pp. 8-29. (in Russian)
4. **Malkina M. Y.** *The impact of investments in human capital and the urban environment on the economic growth of the region*. Regional economics: theory and practice. 2022. Vol. 20. No. 3(510). Pp. 483-506. (in Russian)
5. **Grigoriev L. M.** *Report on Human Development in the Russian Federation for 2024*. Moscow. Analytical Center under the Government of the Russian Federation. 2024. 200 p.
6. **Yakovlev P. P.** *Transport infrastructure and logistics costs in the economy of a large city*. Logistics and supply chain management. 2022. No 3(104). Pp. 22-35. (in Russian)
7. **Glazyev S. Y., Glazyev S. Y., Ivanov V. V.** *The influence of transport accessibility on labor productivity in a megalopolis*. 2023. No. 4(67). Pp. 45-58. (in Russian)
8. **Kolosnitsyna M. G., Khorsheva V. N.** *The quality of life of the population and the spatial development of the economy*. Population. 2021. No. 3. Pp. 70-84. (in Russian)
9. **Fedotov D. Y., Melnikova L. V.** *Assessment of the multiplicative effect of the improvement of public spaces*. Bulletin of the University. 2024. No. 1. Pp. 87-95. (in Russian)
10. **Kapustin, A.V., Smirnov E. N.** *Digital transformation of the city: assessment of the economic effect*. Economics, entrepreneurship and law. 2023. Vol. 13. No. 1. Pp. 31-48.
11. **Sitnikova A. A.** *"Smart city" as a driver of economic development: efficiency assessment*. Economics and management: problems, solutions. 2024. Vol. 1. No. 2(122). Pp. 15-24. (in Russian)

*Received 16 January 2026*

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Анализ влияния комфортности городской среды на экономический рост на примере города Москвы / И. К. Хасан, В. И. Прусова, М. А. Жидкова, Л. И. Артанова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 1(36). – С. 110-116. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.012.

## FOR CITATION:

**Khasan I. K., Prusova V. I., Zhidkova M. A., Artanova L. I.** *Analysis of the impact of the urban environment comfort on economic growth using the example of the city of Moscow*. Housing and utilities infrastructure. 2026. No. 1(36). Pp. 110-116. DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.012. (in Russian)

## **ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ** **WRITING RULES AND GUIDELINE**

Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства. Периодичность издания – 4 раза в год.

Издание включено в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук с 22.12.2020 г.

Статьи в журнале публикуются бесплатно.

Осуществляется подписка на журнал «Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура». Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России» ПД039. Физические лица могут оформить подписку на сайте <https://www.pochta.ru/>

Отдельные экземпляры журнала можно приобрести в редакции по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ВГТУ, кафедра жилищно-коммунального хозяйства, каб. 1321.

О наличии необходимого номера можно узнать по телефону +7(473)271-28-92 или по e-mail: [vstu.gkh@gmail.com](mailto:vstu.gkh@gmail.com).

Рукопись представляется в редакцию *на русском языке*. В том случае, если зарубежные авторы присылают статьи *на английском языке*, необходимо предоставить *точный перевод на русский язык*.

К публикации принимаются материалы статьи, в которых приводятся результаты собственных научных (теоретических и/или экспериментальных) исследований авторов (кроме обзорных статей), соответствующие по своей тематике профилю и тематическим направлениям журнала.

Материалы статьи принимаются в электронном виде на адрес редакции [vstu.gkh@gmail.com](mailto:vstu.gkh@gmail.com). Автор присылает:

- ✓ файл текста статьи;
- ✓ отсканированная последняя страница с датой отправки статьи и подписями всех авторов (рядом с подписью указывается фамилия и инициалы автора);
- ✓ экспертное заключение о возможности открытого опубликования, заверенное печатью и подписью ответственного лица.

После принятия статьи к публикации автор высылает оригинал рукописи в редакцию журнала по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ком. 1321, Воронежский государственный технический университет, кафедра жилищно-коммунального хозяйства.

Об отказе в публикации статьи по формальным признакам авторы информируются редакцией по электронной почте с изложением причины отказа.

### ***Требования к оформлению статьи***

Рукопись должна готовиться в редакторе Microsoft Word для Windows (версии от XP до Word 97/10). Текст набирают шрифтом Times New Roman размером 12 пт с межстрочным интервалом 1, абзацный отступ 1 см. Размер листа А4; поля: левое – 3 см, правое – 1,5 см, верхнее – 2 см, нижнее – 2,5 см. Нумерация страниц не требуется. Объём рукописи – от 5 до 10 страниц, включая иллюстрации, таблицы, библиографический список и сведения об авторах.

Структура статьи:

#### **русскоязычная часть:**

- ✓ **индекс УДК** – в левом верхнем углу, прописными буквами (шрифт 12 пт, обычный);
- ✓ **название статьи** – прописными буквами с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **инициалы, фамилии авторов**, с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **сведения об авторах**: последовательно для каждого – фамилия, имя, отчество, ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почётные звания не указывать), должность, наименование учреждения, в котором работает автор, город, страна, контактный телефон; e-mail автора, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);
- ✓ **аннотация** 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



26 >

9 772541 911015