

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

ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 3(30), 2024

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**

№ 3(30), 2024

**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





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

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



Издается с 2017 года

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

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

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

Выходит 4 раза в год

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

Журнал публикует материалы по следующим разделам:

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

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

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

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» 81025

Воронеж



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

Scientific journal

Voronezh State Technical University



Housing and Utilities Infrastructure

The journal has been publishing since 2017

Founder and publisher:

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

Address of the publisher and founder:

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

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

Published 4 times a year

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

Journal publishes materials on the following topics:

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

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

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

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

Voronezh

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

Саонов 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)

Леднев 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:* Бичев Е.

Редактор перевода: Козлова В. В.

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» 81025

Дата выхода в свет 31.10.2024. Усл. печ. л. 15,4. Формат 60×84/8. Тираж 36 экз. Заказ № 233

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 – 69631 от 02.05.2017

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

Цена свободная

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

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

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Cover design: A. V. Yakubenko *Cover photo:* E. Bichev

Translation editor: V. V. Kozlova

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

Date of publication 31.10.2024. Conventional printed sheets 15.4. Format 60×84/8. Circulation 36 copies. Order 233

Registration certificate ПИ № ФС 77 – 69631 02.05.2017

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

Free price

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Шмелев А. Г., Драпалюк Н. А., Шмелев Г. Д.

Практическое применение методики обоснования остаточного срока службы строительных конструкций зданий и сооружений.....9

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

Кудашев С. Ф., Латин Е. С., Латин Р. С.

О целесообразности фрикулинга в системе оборотного водоснабжения на территории Ленинградской области.....19

Лобанов Д. В., Звенигородский И. И., Сафонов С. А., Кононова М. С.

Обоснование минимально требуемого расхода приточного наружного воздуха в системах вентиляции.....27

Яременко С. А., Гайдаш О. И., Жерлыкина М. Н.

Математическое моделирование нагружения взрывозащитного клапана в системах вентиляции.....37

Китаев Д. Н., Куцыгина О. А.

Повышение точности расчета теплоемкости газов.....46

Журавлева И. В., Помогаева В. В., Ткачев С. Ю.

Обработка осадка городских сточных вод в метантенках.....53

Половнева Д. О., Василенко М. И.

Оценка эффективности комплексного биоцида для воды бассейнов.....64

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО

Кокорина В. В., Золотарева Е. В.

Формирование качественной рекреационной среды многофункциональных спортивных комплексов на базе велодром-арены (г. Брянск).....73

Федоровская А. А., Калайчева Е. С., Саркисян Л. Ю.

Внедрение умных технологий в процесс комплексной реконструкции городской застройки.....84

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

Оценка эффективности методов борьбы с каштановой минирующей молью (*cameraria ohridella* d eshka et dimic) на объектах озеленения г. Орла.....95

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Акимов Л. М., Акимов Е. Л.

Пространственно-временной анализ параметров устойчивости атмосферы в центральной части Русской равнины.....102

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Самарина Н. С., Гревцова А. А., Ким И. А., Ульянова Д. С.

Теоретические аспекты важности обоснования тарифов на содержание и текущий ремонт муниципального унитарного предприятия города Владивосток.....113

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....122

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

Shmelev A. G., Drapalyuk N. A., Shmelev G. D.

Practical application of the methodology for substantiating the remaining service life of engineering structures of buildings and facilities.....9

ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES

Kudashev S. F., Lapin E. S., Lapin R. S.

On the expediency of freecooling in the circulating water supply system in the Leningrad region.....19

Lobanov D. V., Zvenigorodsky I. I., Safonov S. A., Kononova M. S.

Justification of the minimal outdoor air requirement in ventilation systems.....27

Yaremenko S. A., Gaidash O. I., Zherlykina M. N.

Mathematical modeling of loading of an explosion-proof valve in ventilation systems.....37

Kitaev D. N., Kutsygina O. A.

Improving the accuracy of gases heat capacity calculation.....46

Zhuravleva I. V., Pomogaeva V. V., Tkachev S. Y.

Treatment of urban wastewater sludge in methane tanks.....53

Polovneva D. O., Vasilenko M. I.

Evaluation of the effectiveness of a complex biocide for pool water.....64

URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

Kokorina V. V., Zolotareva E. V.

Formation of a quality recreational environment of multifunctional sports complexes based on the velodrome arena (The city of Bryansk).....73

Fedorovskaya A. A., Kalaicheva E. S., Sarkisyan L. Y.

Introduction of smart technology in the process of comprehensive urban development reconstruction.....84

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

Evaluation of the effectiveness of methods for combating chestnut leaf miners (*cameraria ohridella deshka et dimic*) at landscaping facilities in the city of Orel....95

ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

Akimov L. M., Akimov E. L.

Spatio-temporal analysis of atmosphere stability parameters in the central part of the Russian Plain.....102

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

Samarina N. S., Grevtsova A. A., Kim I. A., Ulyanova D. S.

Theoretical aspects of the importance of justification of tariffs for maintenance and current repair of municipal unitary enterprise of the city of Vladivostok.....113

WRITING RULES AND GUIDELINES.....122

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

DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.001

УДК 624.07: 001.5

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОБОСНОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО СРОКА СЛУЖБЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

А. Г. Шмелев, Н. А. Драпалюк, Г. Д. Шмелев

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

Драпалюк Наталья Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(910)241-01-35; e-mail: u00076@vgasu.vrn.ru

Шмелев Геннадий Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(952)955-12-96; e-mail: shmelev8@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы практического применения методики расчетного прогнозирования и обоснования остаточных сроков службы строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений на примере городской канализационной станции «Левобережная» города Воронежа. В соответствии с разработанной авторами методикой прогнозирование выполняется с применением нескольких методов, относящихся к группам: экспертных, параметрических и так называемых «точных». К числу экспертных методов используемых авторами относятся методы линейного и нелинейного прогнозирования по обобщенным параметрам относительной поврежденности, физического износа и вероятного снижения несущей способности. К группе параметрических методов прогнозирования использованных авторами относятся методы линейного и нелинейного прогнозирования по развитию кренов, развитию коррозии стальной арматуры, изменению прочности бетона. К числу «точных» методов, использованных авторами в работе, относятся методы расчетов: по прочности нормального сечения на действие изгибающего момента, прочности бетона по наклонной полосе между трещинами на действие поперечной (перерезывающей) силы, по наклонной трещине на действие поперечной (перерезывающей) силы, по длительному и кратковременному раскрытию трещин. Последняя группа расчетов основана на использовании моделей прогноза из группы параметрических методов (скорость коррозии арматуры, изменение прочности бетона и др.). Представлены результаты расчетов для каждой группы конструкций, отвечающих за несущую способность, пространственную жесткость и механическую безопасность сооружения. На основании полученных результатов оценены приведенные и остаточные сроки службы каждой группы конструкций.

Ключевые слова: результаты обследования; остаточный срок службы; строительные конструкции; здания и сооружения; методы прогнозирования.

В ранее опубликованных работах авторского коллектива были детально рассмотрены вопросы, связанные с разработкой методики оценки технического состояния строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений, прогнозирования и расчетного обоснования остаточных сроков службы строительных конструкций [1...4].

При прогнозировании остаточных сроков службы строительных конструкций ис-

пользуются следующие экспертные методы, основанные на одновременном использовании линейных и нелинейных моделей прогноза и обобщенных параметрах:

- ✓ относительной поврежденности, описанные в работах [1, 3],
- ✓ физического износа конструкций, опубликованные в работах [5, 6],
- ✓ вероятного снижения несущей способности (для конструкций, обладающих несущей способностью) [7].

Поскольку экспертные методы имеют в качестве основы использование субъективно оцениваемых параметров, то для повышения точности прогноза и его достоверности дополнительно используются методы прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций с использованием параметрических методов [8...11]. Суть используемых параметрических методов заключается в прогнозировании по одному из контролируемых параметров, характеризующих работоспособность, прочность, устойчивость и др. характеристики конструкций [12]. Следует при этом отметить, что параметрические методы прогнозирования также не обеспечивают идеальную достоверность прогноза, так как каждый их используемых методов учитывает только один изменяемый параметр конструкции, например, только изменчивость прочности бетона [8, 9] или только изменчивость сечения арматурных стержней [10, 11].

В качестве более точных методов прогноза авторами разработаны методы, основанные на использовании параметрических моделей прогнозирования, учитывающие изменения сразу нескольких ключевых параметров конструкции. В основе этих методов лежит расчет строительных конструкций по методам предельных состояний. Методики, учитывающие изменения предельных состояний конструкций, получили соответствующие наименования: «нагрузка – несущая способность» и «нагрузка – деформации». Примеры использования методик «нагрузка – несущая способность» опубликованы в работах [13...16], а методик «нагрузка – деформации» в работах [17, 18].

Описанная в работах [1, 3] методика прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций была апробирована в 2016 году при выполнении работ по обследованию и обоснованию остаточных сроков службы строительных конструкций комплекса сооружений городской канализационной насосной станции (ГКНС) «Левобережная». Комплекс сооружений расположен в г. Воронеж, недалеко от дорожной развязки у Вогресовской дамбы, в непосредственной близости от уреза воды Воронежского водохранилища.

Комплекс сооружений ГКНС состоит из основного строения с приемным помещением № 1, резервуаром сточных вод и машинным залом (возведено в 1971 году); пристройки к основному зданию (2001 год) и административно-бытового здания с переходом и грабельным отделением (1971 год с достраиванием в 2001 году).

Подземная часть основного здания выполнена в монолитном железобетоне; надземная – со стенами из глиняного кирпича и сборным железобетонным покрытием из двутавровых двускатных балок и ребристых плит покрытия для промзданий.

Пристройка к основному зданию не имеет заглубленной части. Надземная часть выполнена со стенами из силикатного кирпича и покрытием в виде стропильных односкатных железобетонных балок и ребристых железобетонных плит покрытия.

Административно-бытовое здание с переходом и грабельным отделением выполнено частично с железобетонным сборным каркасом и навесными панельными стенами. Пристройки и переход выполнены с использованием несущих железобетонных стеновых панелей. Покрытие выполнено из сборных плоских железобетонных плит.

Результаты практического применения методики прогнозирования и расчетного обоснования остаточных сроков службы строительных конструкций ГКНС рассмотрим на примере материалов отчета «Результаты прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций основного здания ГКНС».

В ходе проведенного визуального обследования технического состояния объекта для строительных конструкций были установлены следующие обобщенные параметры, характеризующие фактическое техническое состояние (табл. 1).

Таблица 1

Основные обобщенные параметры характеризующие фактическое техническое состояние строительных конструкций основного здания ГКНС

Наименование конструктивного элемента	Значение физического износа, %	Относительная поврежденность	Вероятное снижение несущей способности, %
Фундаменты	5	0...0,01	0...5
Плиты перекрытия каналов приемного отделения	20	0,1...0,2	15...25
Стены подвала	10	0,01...0,1	5...15
Перекрытие резервуара	15	0,1...0,2	15...25
Балки перекрытия подвала	5	0...0,01	0...5
Плиты перекрытия подвала	20	0,01...0,1	5 - 15
Колонны каркаса	5	0...0,01	0...5
Подкрановые балки	5	0...0,01	0...5
Наружные и внутренние стены	10	0,01...0,1	5...15
Стропильные ж/б балки	5	0...0,01	0...5
Плиты покрытия	5	0...0,01	0...5

Для отдельных конструктивных элементов исследуемого объекта, при инструментальном контроле, дополнительно были зафиксированы некоторые параметры, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Контролируемые параметры строительных конструкций, установленные при инструментальном контроле

Наименование конструктивного элемента	Контролируемый параметр	Значение параметра
Перекрытие канала в приемном отделении	Коррозия арматуры	15 %
Стены подземной части	Прочность бетона	B12,5...B20
Перекрытие над резервуаром сточных вод	Коррозия арматуры	15 %
Плиты перекрытия в приемном отделении	Коррозия арматуры	15 %
Стены здания (углы)	Отклонения от вертикали	11 и 18 мм

Нормативный срок службы исследуемого объекта, исходя из его конструктивных особенностей, составляет 100 лет. Дальнейшее прогнозирование велось с учетом этого срока.

Дальнейшее построение прогнозов выполнялось для всех строительных конструкций, кроме: окон, дверей, ворот, полов, отмостки и кровли. Эти конструкции являются легко сменяемыми, не влияют на устойчивость, пространственную жесткость, надежность и механическую безопасность здания. Кроме того, большая их часть выработала свой нормативный ресурс и должна быть заменена без дополнительного обоснования.

Основываясь на результатах визуального и инструментального обследований объекта (с учетом данных табл. 2) при прогнозировании остаточного срока службы строительных конструкций были использованы следующие контролируемые параметры:

- ✓ развитие кренов;
- ✓ развитие коррозии стальной арматуры;
- ✓ изменение прочности бетона.

Итоговые результаты прогнозирования и обоснования принятых остаточных сроков службы основных конструкций здания приведены ниже (см. табл. 3...17).

При получаемом значении прогнозируемого срока службы более 100 лет (нормативный срок службы сооружения) в соответствующих таблицах указано значение >100.

Таблица 3

Результаты прогнозов по фундаментной плите здания, в годах

Наименование конструктивного элемента	По показателям поврежденности		По вероятному снижению несущей способности		По физическому износу		Развитие кренов
	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный	
Фундаментная плита	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	61

Приведенный (усредненный) срок службы фундамента: 94 года. Остаточный средний срок службы фундаментов: $94 - 45 = 49$ лет.

Таблица 4

Результаты прогнозов по плите перекрытия над каналом приемного отделения экспертными методами, в годах

Наименование конструктивного элемента	По показателям поврежденности		По вероятному снижению несущей способности		По физическому износу	
	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный
Плита перекрытия канала приемного отделения	45	45	45	45	90	> 100

Таблица 5

Результаты прогнозов по плите перекрытия над каналом приемного отделения параметрическими и «точными» методами, в годах

Наименование конструктивного элемента	Развитие коррозии		По изменению прочности бетона	По прочности нормального сечения	По прочности в наклонной полосе	По прочности по наклонной трещине
	линейное	нелинейное				
Перекрытие канала приемного отделения	72	31	68	> 100	> 100	> 100

Приведенный (усредненный) срок службы плиты перекрытия над каналом при сохранении действующих нагрузок: 70 лет. Остаточный срок службы плиты перекрытия: $70 - 45 = 25$ лет.

Таблица 6

Результаты прогнозов по монолитным железобетонным стенам подземной части здания экспертными методами, в годах

Наименование конструктивного элемента	По показателям поврежденности		По вероятному снижению несущей способности		По физическому износу	
	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный
Монолитные стены подвальной части здания	45	45	45	45	> 100	> 100

Таблица 7

Результаты прогнозов по монолитным железобетонным стенам подземной части здания параметрическими и «точными» методами, в годах

Наименование конструктивного элемента	По изменению прочности бетона	По прочности нормального сечения	По прочности в наклонной полосе	По прочности по наклонной трещине	По длительному раскрытию трещин	По кратковременному раскрытию трещин
Монолитные стены подвальной части здания	73	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100

Приведенный (усредненный) срок службы плиты перекрытия над каналом при сохранении действующих нагрузок: 79 лет. Остаточный срок службы плиты перекрытия: $79-45 = 34$ года.

Таблица 8

Результаты прогнозов по монолитной железобетонной плите перекрытия над резервуаром сточных вод экспертными методами, в годах

Наименование конструктивного элемента	По показателям поврежденности		По вероятному снижению несущей способности		По физическому износу	
	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный
Монолитные стены подвальной части здания	45	45	45	45	> 100	> 100

Таблица 9

Результаты прогнозов по монолитным железобетонным стенам подземной части здания параметрическими и «точными» методами, в годах

Наименование конструктивного элемента	По развитию коррозии		По изменению прочности бетона	По прочности нормального сечения	По прочности в наклонной полосе	По прочности по наклонной трещине
	линейное	нелинейное				
Монолитные стены подвальной части здания	72	46	56	> 100	> 100	> 100

Приведенный (усредненный) срок службы плиты перекрытия над каналом при сохранении действующих нагрузок: 71 год. Остаточный срок службы плиты перекрытия над каналом: $71-45 = 26$ лет.

Таблица 10

Результаты прогнозов по монолитным железобетонным балкам перекрытия над подвалом экспертными методами, в годах

Наименование конструктивного элемента	По показателям поврежденности		По вероятному снижению несущей способности		По физическому износу	
	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный
Балки перекрытия подвала	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100

Приведенный (усредненный) срок службы монолитных железобетонных балок перекрытия над подвалом: 100 лет. Остаточный срок службы монолитных железобетонных балок перекрытия над подвалом: $100-45 = 55$ лет.

Таблица 11

Результаты прогнозов по железобетонным плитам перекрытия над подвалом экспертными методами, в годах

Наименование конструктивного элемента	По показателям поврежденности		По вероятному снижению несущей способности		По физическому износу	
	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный
Плиты перекрытия подвала	90	> 100	76	78	90	> 100

Таблица 12

Результаты прогнозов по железобетонным плитам перекрытия
над подвалом параметрическими методами, в годах

Наименование конструктивного элемента	По развитию коррозии	
	линейное	нелинейное
Плиты перекрытия подвала	72	> 100

Приведенный (усредненный) срок службы плит перекрытия над подвалом: 88 лет.
Остаточный срок службы плит перекрытия над подвалом: $88 - 45 = 43$ года.

Таблица 13

Результаты прогнозов по железобетонным колоннам каркаса
надземной части здания экспертными методами, в годах

Наименование конструктивного элемента	По показателям поврежденности		По вероятному снижению несущей способности		По физическому износу	
	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный
Колонны каркаса	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100

Приведенный (усредненный) срок службы железобетонных колонн каркаса: 100 лет.
Остаточный срок службы монолитных железобетонных колонн каркаса составляет:
 $100 - 45 = 55$ лет.

Таблица 14

Результаты прогнозов по железобетонным подкрановым балкам
экспертными методами, в годах

Наименование конструктивного элемента	По показателям поврежденности		По вероятному снижению несущей способности		По физическому износу	
	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный
Подкрановые балки	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100

Приведенный (усредненный) срок службы монолитных железобетонных балок перекрытия над подвалом: 100 лет. Остаточный срок службы железобетонных подкрановых балок составляет: $100 - 45 = 55$ лет.

Таблица 15

Результаты прогнозов по каменным стенам здания экспертными методами, в годах

Наименование конструктивного элемента	По показателям поврежденности		По вероятному снижению несущей способности		По физическому износу	
	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный
Наружные и внутренние каменные стены	90	> 100	76	78	> 100	> 100

Приведенный (усредненный) срок службы наружных и внутренних каменных стен здания: 90 лет. Остаточный срок службы каменных стен составляет: $90 - 45 = 45$ лет.

Таблица 16

Результаты прогнозов по железобетонным стропильным балкам покрытия здания
экспертными методами, в годах

Наименование конструктивного элемента	По показателям поврежденности		По вероятному снижению несущей способности		По физическому износу	
	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный
Стропильные балки	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100

Приведенный (усредненный) срок службы сборных железобетонных стропильных балок покрытия здания: 100 лет. Остаточный срок службы сборных железобетонных стропильных балок покрытия составляет: $100-45 = 55$ лет.

Таблица 17

Результаты прогнозов по железобетонным ребристым плитам
здания экспертными методами, в годах

Наименование конструктивного элемента	По показателям поврежденности		По вероятному снижению несущей способности		По физическому износу	
	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный	линейный	нелинейный
Ребристые плиты покрытия	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100

Приведенный (усредненный) срок службы сборных железобетонных ребристых плит покрытия здания: 100 лет. Остаточный срок службы сборных железобетонных ребристых плит покрытия составляет: $100...45 = 55$ лет.

Заключение.

Полученные приведенные (усредненные) и остаточные сроки службы строительных конструкций учитывают все особенности работы конструкций, их фактическое техническое состояние и имеющуюся поврежденность на момент проведения обследования и выполнения прогноза.

Использование нескольких условно независимых методов прогнозирования, учитывающих различные параметры фактического технического состояния строительных конструкций исследуемого объекта на момент проведения его технического освидетельствования (обследования) и вероятного изменения этих параметров во времени по линейным и нелинейным моделям позволяет получить более точные прогнозные значения остаточных сроков службы, как самих конструкций, так и всего объекта в целом.

Для исследуемого объекта, исходя из оцененных сроков службы основных несущих конструкций остаточный срок службы назначен в пределах от 43 до 55 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **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.

2. **Шмелев, Г. Д.** Использование случайных функций и процессов в комбинированной интегральной методике прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, М. И. Федотова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 1(39). – С. 128-137.

3. **Шмелев, Г. Д.** Логическая структура экспертной системы прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2017. - № 1(1). – С. 9-17.

4. **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(32). – С. 11-18.

5. **Шмелев, Г. Д.** Методика экспресс прогноза остаточного срока службы конструкций зданий и сооружений по их физическому износу / Г. Д. Шмелев, Е. Н. Савченко // В книге: Оценка риска и безопасность строительных конструкций. Тезисы докладов. – 2006. – С. 87-90.

6. **Шмелев, Г. Д.** Экспертный метод прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по их физическому износу / Г. Д. Шмелев // Строительство и реконструкция. – 2014. – № 3(53). – С. 31-39.

7. **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.

8. **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.

9. **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.

10. **Шмелев, Г. Д.** Диффузия углекислого газа в бетон строительных конструкций и оценка коэффициента диффузии интервальным методом / Г. Д. Шмелев, С. А. Варюшкин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2013. – № 3(47). – С. 315-320.

11. **Потапов, Ю. Б.** Расчет долговечности железобетонных конструкций с учетом коррозии арматуры / Ю. Б. Потапов, П. А. Головинский, Г. Д. Шмелев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2003. – № 6(534). – С. 113-117.

12. **Шмелев, Г. Д.** Систематизация определяющих параметров для прогноза остаточного срока службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев // Вестник МГСУ. – 2013. – № 8. – С. 89-96.

13. **Шмелев, Г. Д.** Расчет остаточного срока службы железобетонных конструкций шахты реактора типа – ВВЭР / Г. Д. Шмелев // В книге: Оценка риска и безопасность строительных конструкций. Тезисы докладов. – 2006. – С. 99-103.

14. **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.

15. **Шмелев, Г. Д.** Расчет остаточного срока службы железобетонных конструкций шахты реактора энергоблока АЭС / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков, А. Г. Шмелев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 4(23). – С. 9-20.

16. **Коновалов, А. А.** Прогнозирование остаточного срока службы центрального и внецентренно сжатых железобетонных элементов / А. А. Коновалов, Г. Д. Шмелев // В книге: Оценка риска и безопасность строительных конструкций. Тезисы докладов. – 2006. – С. 95-99.

17. **Шмелев, Г. Д.** Прогнозирование остаточного ресурса изгибаемых железобетонных конструкций, эксплуатируемых в неагрессивных средах / Г. Д. Шмелев, А. Н. Ишков // Монография. – Ростов-на-Дону. – 2007.

18. **Ишков, А. Н.** Методы прогнозирования остаточного ресурса по II группе предельных состояний для изгибаемых железобетонных конструкций, эксплуатируемых в неагрессивных средах: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Алексей Николаевич Ишков; Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. – Воронеж, 2007. – 238с.

Поступила в редакцию 4 мая 2024

PRACTICAL APPLICATION OF THE METHODOLOGY FOR SUBSTANTIATING THE REMAINING SERVICE LIFE OF ENGINEERING STRUCTURES OF BUILDINGS AND FACILITIES

A. G. Shmelev, N. A. Drapalyuk, G. D. Shmelev

Andrey Gennadievich Shmelev, Postgraduate student at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(920)468-66-22; e-mail: shmelev8@mail.ru
Natalya Alexandrovna Drapalyuk, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, tel.: +7(910)241-01-35; e-mail: u00076@vgasu.vrn.ru
Gennady Dmitrievich Shmelev, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, tel.: +7(952)955-12-96; e-mail: shmelev8@mail.ru

The article considers the issues of practical application of the methodology of computational forecasting and justification of the remaining service life of engineering structures of operated buildings and facilities on the example of the *Levoberezhnaya* urban sewage station in the city of Voronezh. In accordance with the methodology of computational forecasting and justification of the remaining service life of engineering structures of operated buildings and facilities developed by the authors, forecasting is performed using several methods belonging to the following groups: expert, parametric and so-called *accurate* ones. The expert methods used by the authors include methods of linear and nonlinear forecasting based on generalized parameters of relative damage, physical wear and probable reduction of load-bearing capacity. The group of parametric forecasting methods used by the authors includes methods of linear and nonlinear forecasting for the occurrence of rolls, the development of corrosion of steel reinforcement, and changes in concrete strength. Among the *accurate* methods used by the authors in the work there are calculation methods: for the strength of the normal cross-section to the effect of bending moment, the strength of concrete along the inclined strip between cracks to the effect of transverse (shearing) force, along the inclined crack to the effect of transverse (shearing) force, for long and short-term crack opening. The last group of calculations is based on the use of forecast models from a group of parametric methods (rebar corrosion rate, concrete strength change, etc.). We summarized in tables the calculation results for each group of structures responsible for bearing capacity, spatial rigidity and mechanical safety of the structure. Based on the results obtained, we estimated the reduced and remaining service lives of each group of structures.

Keywords: survey results; remaining service life; engineering structures; buildings and facilities; forecasting methods.

REFERENCES

1. **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)
2. **Shmelev G. D., Fedotova M. I.** *The use of random functions and processes in a combined integral methodology for predicting the remaining service life of building structures.* Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2017. No. 1(39). Pp. 128-137. (in Russian)
3. **Shmelev G. D.** *The logical structure of the expert system for forecasting the remaining service life of building structures.* Housing and communal infrastructure. 2017. No. 1(1). Pp. 9-17. (in Russian)
4. **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(32). Pp. 11-18. (in Russian)

5. **Shmelev G. D., Savchenko E. N.** *The methodology of express prediction of the residual service life of structures of buildings and structures according to their physical wear.* In the book: Risk assessment and safety of building structures. Abstracts of reports. 2006. Pp. 87-90. (in Russian)
6. **Shmelev G. D.** *Expert method of forecasting the remaining service life of building structures by their physical wear.* Construction and reconstruction. 2014. No. 3(53). Pp. 31-39. (in Russian)
7. **Shmelev G. D., Ishkov A. N., Drapalyuk D. A.** *The method of forecasting the residual service life for a likely decrease in the bearing capacity of exploited building structures.* Housing and communal infrastructure. 2022. No. 2(21). Pp. 9-18. (in Russian)
8. **Shmelev G. D., Nikolaichev I. V.** *Parametric methods for predicting the residual 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)
9. **Samokhina M. N., Ishkov A. N., Shmelev G. D.** *Features of forecasting changes in the strength parameters of concrete in conditions of limited information.* Housing and communal infrastructure. 2019. No. 1(8). Pp. 9-17. (in Russian)
10. **Shmelev G. D., Varyushkin S. A.** *Diffusion of carbon dioxide into concrete of building structures and assessment of the diffusion coefficient by the interval method.* Issues of modern science and practice. V.I. Vernadsky University. 2013. No. 3(47). Pp. 315-320. (in Russian)
11. **Potapov Yu. B., Golovinsky P. A., Shmelev G. D.** *Calculation of durability of reinforced concrete structures taking into account reinforcement corrosion.* Izvestia of higher educational institutions. Construction. 2003. No. 6(534). Pp. 113-117. (in Russian)
12. **Shmelev G. D.** *Systematization of determining parameters for predicting the residual service life of building structures.* Bulletin of MGSU. 2013. No. 8. Pp. 89-96. (in Russian)
13. **Shmelev G. D.** *Calculation of the residual service life of reinforced concrete structures of the reactor shaft type – VVER.* In the book: Risk assessment and safety of building structures. Abstracts of reports. 2006. Pp. 99-103. (in Russian)
14. **Shmelev G. D., Ishkov A. N., Zhukova A. V.** *Assessment of the residual service life of a circular console of a polar crane using the method of limit states.* Housing and communal infrastructure. 2020. No. 3(14). Pp. 9-16. (in Russian)
15. **Shmelev G. D., Ishkov A. N., Shmelev A. G.** *Calculation of the residual service life of reinforced concrete structures of the reactor shaft of the NPP power unit.* Housing and communal infrastructure. 2022. No. 4(23). Pp. 9-20. (in Russian)
16. **Konovalov A. A., Shmelev G. D.** *Forecasting the residual service life of central and off-center compressed reinforced concrete elements.* In the book: Risk assessment and safety of building structures. Abstracts of reports. 2006. Pp. 95-99. (in Russian)
17. **Shmelev G. D., Ishkov A. N.** *Forecasting the residual life of bent reinforced concrete structures operated in non-aggressive environments.* Monograph. Rostov-on-Don. 2007. (in Russian)
18. **Ishkov A. N.** *Methods of forecasting the residual resource for the II group of limit states for bent reinforced concrete structures operated in non-aggressive environments.* Voronezh, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. 2007. 283p. (in Russian)

Received 4 May 2024

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Шмелев, Г. Д. Практическое применение методики обоснования остаточного срока службы строительных конструкций зданий и сооружений / А. Г. Шмелев, Н. А. Драпалюк, Г. Д. Шмелев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 3(30). – С. 9-18. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.001.

FOR CITATION:

Shmelev A. G., Drapalyuk N. A., Shmelev G. D. *Practical application of the methodology for substantiating the remaining service life of engineering structures of buildings and facilities.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 3(30). Pp. 9-18. DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.001. (in Russian)

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

ENGINEERING SYSTEMS AND SERVICES

DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.002

УДК 62-714

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ФРИКУЛИНГА В СИСТЕМЕ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

С. Ф. Кудашев, Е. С. Лапин, Р. С. Лапин

Кудашев Сергей Федорович, канд. техн. наук, доцент кафедры теплоэнергетических систем, ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», Саранск, Российская Федерация, тел.: +7(927)199-09-91; e-mail: kudashev@internet.ru

Лапин Евгений Сергеевич, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры теплоэнергетических систем, ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», Саранск, Российская Федерация, тел.: +7(927)199-09-99; e-mail: evgeniy lapin@internet.ru

Лапин Роман Сергеевич, бакалавр кафедры теплоэнергетических систем ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», Саранск, Российская Федерация, тел.: +7(927)194-32-12; e-mail: roman.lapin.99@internet.ru

Представлены результаты анализа энергопотребления двух закрытых систем оборотного водоснабжения. Первый вариант – система с чиллером, установленным на улице с антифризом в качестве теплоносителя и сухой градирней, второй вариант – система с чиллером в теплом помещении и «зимним пуском». В качестве антифриза рассмотрен водный раствор пропиленгликоля. Расчеты проводились для фактических климатических условий Ленинградской области и одинаковых температурных режимах потребителей. Выполнен расчет энергопотребления на основании коэффициента преобразования (*COP*) обоих вариантов. *COP* рассчитан с учетом энергопотребления насосных станций (гидромодулей). На основании энергопотребления оборудования и стоимости электроэнергии сделаны выводы о целесообразности использования фрикулинга для рассматриваемой системы.

Ключевые слова: фрикулинг; чиллер; сухая градирня; фреон; оборотное водоснабжение; пропиленгликоль; промежуточный теплообменник.

Климатические условия большей части территории Российской Федерации таковы, что температура окружающего воздуха в переходный или зимний периоды года достаточно для использования сухих градирен для охлаждения оборотной воды технологических процессов [1...3]. При этом в летний период при высокой температуре окружающего воздуха использование сухих охладителей зачастую невозможно, так как требует установки дополнительного холодильного оборудования. Одним из вариантов снижения энергопотребления систем охлаждения является использование аккумуляторов холода [4], в частности на основе *STL* аккумуляторов. От использования мокрых градирен зачастую отказываются ввиду из-за низкого качества получаемой оборотной воды, что связано с большим содержанием кислорода и развитием микроорганизмов.

При проектировании систем оборотного водоснабжения зачастую большое внимание уделяется системам с «фрикулингом», обосновывая это низким энергопотреблением системы в периоды низких температур окружающего воздуха. Вопросам энергосбережения в нашей стране уделяется пристальное внимание со стороны законодателей, что отражается на содержании проектов, а также в работах исследователей [5]. Вопросам проектирования, в частности проектным решениям принимаемым в проект зачастую пристальное внимание

уделяет и сам заказчик, т.к. базовые решения заложенные в проекте определяют экономичность функционирования предприятия.

В работе выполнено сравнение двух вариантов систем охлаждения оборотной воды на примере фармацевтического предприятия, расположенного в Ленинградской области.

Исходные данные для проектирования представлены в таблице.

Данные для проектирования

Параметр	Значение
Требуемая холодильная мощность,	623 кВт
Температура воды:	
✓ вход	20°С
✓ выход	25°С
Располагаемый напор	30 м. вод. ст.
Режим работы	Круглосуточный/круглогодичный
Расположение	Ленинградская область

Дополнительным требованием является замкнутый контур оборотного водоснабжения. К анализу предлагаем две схемы охлаждения оборотного водоснабжения:

Первая схема – с сухой градирней и чиллером для работы в летний период (рис. 1), т.е. система с косвенным фрикулингом с использованием промежуточного теплоносителя [6...7].

Вторая схема – с чиллером на базе поршневых компрессоров с выносным конденсатором (рис. 2).

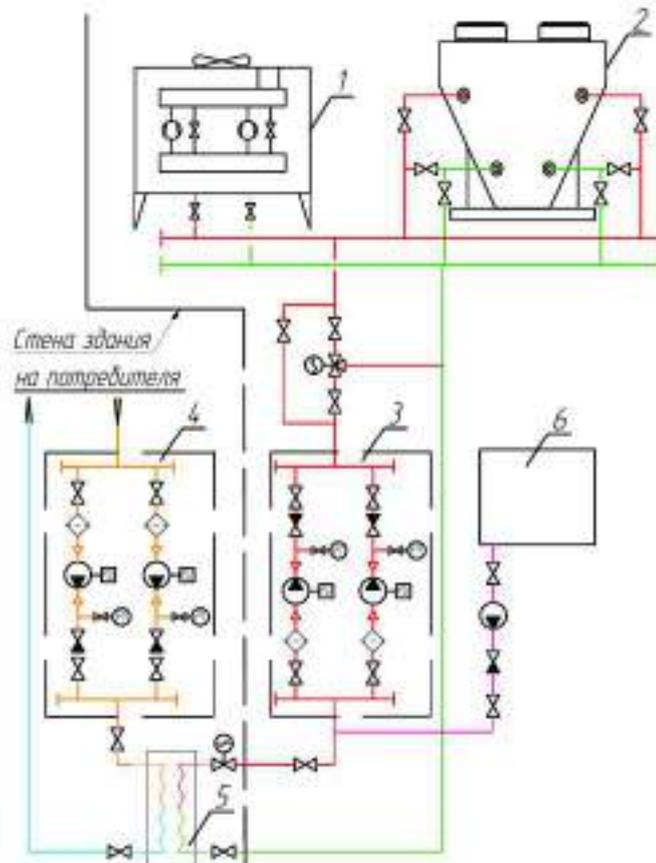


Рис. 1. Схема охлаждения оборотного водоснабжения с сухой градирней и чиллером для работы в летний период: 1 – чиллер; 2 – драйкулер; 3 – насосная станция антифриза; 4 – насосная станция воды; 5 – промежуточный теплообменник; 6 – подпиточная емкость
Первая схема (рис. 1) выполнена из двух контуров: контур с антифризом и водяной

контур. Использование антифриза продиктовано низкими температурами окружающего воздуха в зимний период и опасностью разморозить теплообменник драйкулера [8].

Принцип действия следующий: в летний период антифриз при помощи насосной станции перекачивается через трехходовый клапан в чиллер 1 (драйкулер 2 отключен задвижками), где антифриз охлаждается до расчетной температуры и далее поступает в теплообменник, где охлаждает воду. В данной схеме используется чиллер без плавного регулирования производительности, регулировка производительности ступенчатая путем изменения количества работающих компрессоров. Возможно использование нескольких чиллеров с запорными клапанами с автоматическим приводом на входе в чиллер, для предотвращения протока воды через него в период простоя компрессоров.

В зимний период антифриз охлаждается при помощи драйкулера 2, регулировка производительности драйкулера плавная за счет использования частотного привода на вентиляторах. Трёхходовой кран на линии подачи антифриза препятствует снижению температуры подаваемого антифриза на теплообменник 5 ниже нуля градусов, для защиты его от размораживания. Преимуществами данной схемы является его низкое энергопотребление в периоды работы драйкулера. Чиллер предназначен для работы только в летний период (при температуре наружного воздуха выше 8°C), поэтому возможна установка его на улице, что экономит площади производственных помещений, при этом насосная станция для перекачивания воды и теплообменник 5 должны быть установлены в помещении с положительной температурой. В качестве антифриза в данной схеме используется 40 %-ный водный раствор пропиленгликоля. Возможно использование других схем фрикулинга, например, с циркуляцией фреона [6], но все они зачастую ведут к удорожанию проекта и при проектировании используются редко.

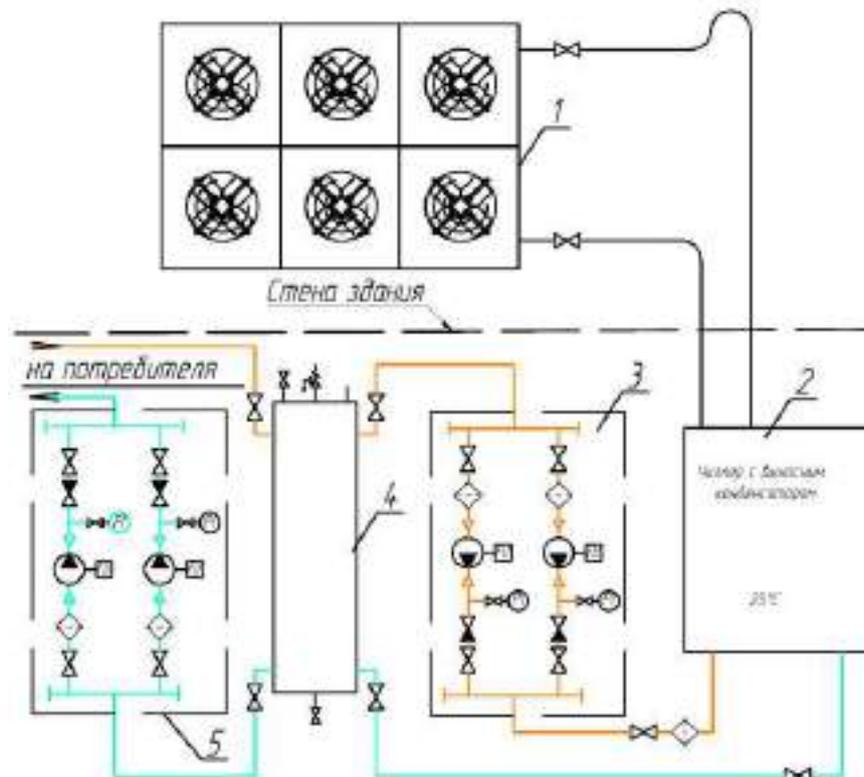


Рис. 2. Схема охлаждения оборотного водоснабжения с чиллером на базе поршневых компрессоров с выносным конденсатором: 1 – конденсатор, 2 – чиллер с выносным конденсатором, 3 – гидромодуль чиллера, 4 – гидромодуль потребителей, 5 – емкость

Вторая схема (рис. 2) представляет собой единый контур, гидравлически развязанный за счет емкости (гидроразделитель) на два контура циркуляции [4]. Первый контур

включает в себя гидромодуль чиллеров, емкость, теплообменники-испарители чиллеров. Второй – потребители, емкость, гидромодуль потребителей. Нагретая жидкость из верхней точки емкости забирается насосами гидромодуля, подается в чиллеры, где охлаждается и поступает обратно в емкость. Из нижней части емкости охлажденная вода забирается гидромодулем потребителей и подается на технологические установки, где нагревается и поступает в емкость.

В данной схеме чиллер рассчитан на круглогодичную и круглосуточную работу, что предъявляет требования к качеству комплектующих. Для работы в зимний период фреоновый контур снабжен опцией «зимний пуск», (регулятор давления на нагнетании, ресивер, обратный клапан на сливе в ресивер, регулятор давления в ресивере). Чиллер и насосные станции располагаются в помещении с постоянно положительной температурой воздуха.

Преимуществом данной схемы является прямое охлаждение воды в теплообменниках чиллеров, что позволяет повысить температуру кипения и тем самым увеличить коэффициент преобразования (*COP*) компрессоров. В такой схеме возможно использование насосов с меньшей мощностью, так как нет необходимости в преодолении гидравлического сопротивления промежуточного теплообменника и регулирующих клапанов со стороны гликолевого контура.

Для технико-экономического сравнения предлагаемых технических решений выполнен расчет годового энергопотребления двух вариантов:

- ✓ двухконтурный вариант – драйкулер и чиллер, промежуточный теплообменник;
- ✓ одноконтурный вариант – чиллер в теплом помещении с возможностью эксплуатации в зимний период.

В соответствии с проектом при температуре наружного воздуха выше +8 °С охлаждение обеспечивают только чиллеры, а при температуре ниже +8 °С – только драйкулер. Для второго варианта (чиллеры с «зимним пуском»), холодильная нагрузка круглогодично обеспечивается чиллерами.

Средняя круглогодичная холодильная мощность рассчитывалась исходя из принятого коэффициента загрузки 0,8 и максимальной требуемой холодильной мощности 623 кВт.

Для расчета была использована годовая база температур наружного воздуха для г. Санкт-Петербург, осредненная каждые 3 часа в течении суток. Для определения энергопотребления холодильного оборудования в зависимости от температуры наружного воздуха выполнен расчет коэффициента преобразования *COP*:

$$COP = \frac{Q_{хол}}{P}, \quad (1)$$

где $Q_{хол}$ – холодильная мощность, кВт; P – электрическая мощность, кВт.

Величина *COP* сильно зависит от температуры наружного воздуха. Поэтому был вычислен *COP* каждого холодильного оборудования при различной температуре наружного воздуха. На основании данных о *COP* оборудования для каждого значения температуры наружного воздуха вычислялась электрическая мощность холодильной машины.

Холодильная мощность была принята средняя, в соответствии с коэффициентом загрузки. Зная электрическую мощность холодильного оборудования каждые 3 часа, рассчитывалось энергопотребление холодильного оборудования в течение всего года (складывалось каждые три часа в течении года):

$$W = \sum_{i=1}^n 3P_i, \quad (2)$$

где P_i – электрическая мощность холодильной машины при i -ой температуре наружного воздуха (осредненная за каждые 3 часа), кВт; n – число показаний температур наружного воздуха (8 показаний в течении суток, каждые три часа) в течении всего года.

Так как холодильная мощность оборудования зависит от температуры наружного воздуха, выполнен расчет COP для всего оборудования: всех чиллеров и драйкулера в диапазоне их рабочих температур с шагом $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

COP чиллеров на пропиленгликоле 40% определялся следующим образом. Воспользовавшись программой расчета спиральных компрессоров от компании Danfoss, определена выдаваемая холодильная и электрическая мощность компрессора при различных температурах конденсации. Складывая электрическую мощность вентиляторов конденсатора и компрессоров определяли COP чиллера. Температура кипения принята в соответствии с проектным значением $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температурный напор в конденсаторе принят $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Т.е. при температуре наружного воздуха $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура конденсации составляет $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Принято, что снижение температуры наружного воздуха на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к снижению температуры конденсации $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, что ведет к росту COP .

COP чиллеров, охлаждающих непосредственно воду, определялся по вышеизложенной методике. Отличием является более высокая температура кипения $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$, вместо $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$. На основании различных температур наружного воздуха на основании (1) построен график зависимости COP чиллеров представленный на рис. 3. Регулятор давления на линии нагнетания не позволит опустить давления на нагнетании ниже настроенного значения. Поэтому при температуре ниже $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ графики представляют собой горизонтальные линии. Энергопотребление насосов в обоих сравниваемых вариантах принято одинаковыми.

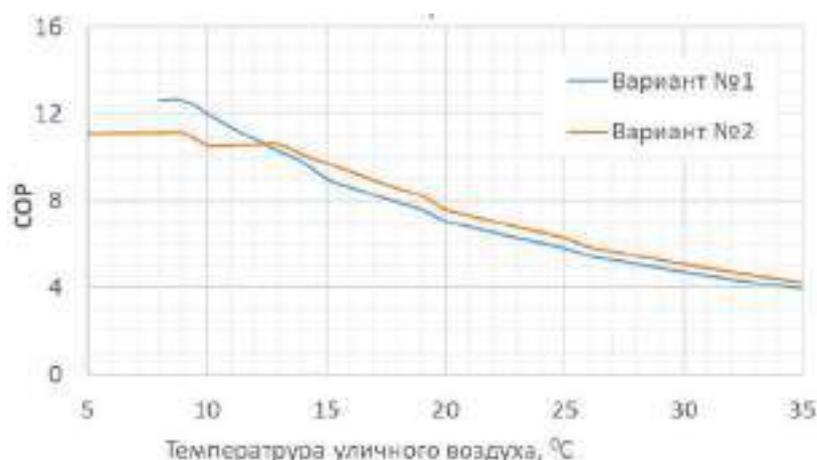


Рис. 3. Зависимость COP чиллеров от температуры наружного воздуха

Коэффициент преобразования для драйкулера определялся следующим образом. В официальной программе расчета оборудования GUNTNER для температуры пропиленгликоля на входе $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ объемном расходе $115,36\text{ м}^3/\text{ч}$, для отрезка температур наружного воздуха от $+9\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$, определялась холодильная мощность драйкулера. Зная электрическую мощность всех вентиляторов ($6 \times 3,6 = 21,6\text{ кВт}$), и холодильную мощность драйкулера, определялся COP драйкулера [9] на разных температурах наружного воздуха, представленный на рис. 4.

Были проведены расчеты технико-экономических показателей сравниваемых вариантов:

✓ годовое энергопотребление двух контурного варианта с драйкулером, чиллерами, промежуточным теплообменником составило $566\,277,11\text{ кВт}\times\text{ч}$;

✓ годовое энергопотребление варианта только с чиллерами с «зимним пуском» в машинном отделении контейнерного типа составило $577\,875,64\text{ кВт}\times\text{ч}$.

Разница в энергопотреблении – $11\,598,53\text{ кВт}\times\text{ч} / \text{год}$.

Годовая экономия в случае использования двух контурного варианта с драйкулером, чиллерами, промежуточным теплообменником (более дорого варианта):

- ✓ при питании от собственной подстанции (тариф 3,5 руб/(кВт×ч)) – 500 809,84 руб (стоимость электроэнергии для расчета взята на основании данных, полученных от заказчика. Электроэнергия вырабатывается собственной газопоршневой установкой);
- ✓ при питании от городской подстанции (тариф 7 руб/(кВт×ч)) – 1 001 619,69 руб.

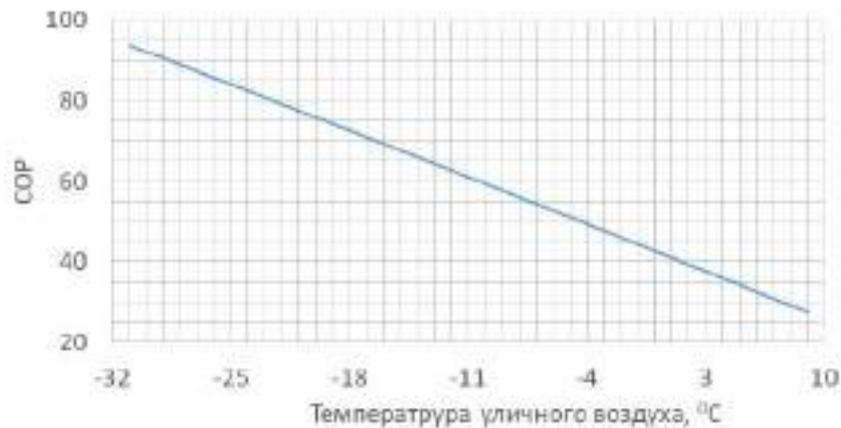


Рис. 4. Зависимость COP драйкулера от температуры наружного воздуха

Стоимость реализации проекта двух контурного варианта с драйкулером, чиллерами, промежуточным теплообменником – 35 095 189,84 руб.

Стоимость реализации проекта с чиллерами с «зимним пуском» в машинном отделении контейнерного типа – 26 470 750,83 руб.

Срок окупаемости дополнительного оборудования, применяемого при фрикулинге (статический метод) [10]:

$$(35\ 095\ 189,84 - 26\ 470\ 750,83) / (1\ 001\ 619,69) = 8,61 \text{ года.}$$

При этом следует отметить, что отказ от использования пропиленгликоля снижает стоимость решения за счет отсутствия расходов на покупку пропиленгликоля, подпиточной емкости и насосной станции для подпитки, промежуточного теплообменника. Также снижаются эксплуатационные расходы, связанные с заменой, добавлением, проведением анализов пропиленгликоля (примерно раз в 10 лет).

Поэтому в данном случае использование чиллера с выносным конденсатором, установленным в теплом помещении (вариант 2) является более рациональным решением в сравнении с системой с фрикулингом (вариант 1).

Заключение.

Представлены результаты расчета коэффициента преобразования (COP) двух вариантов холодильного оборудования при различной температуре наружного воздуха для климатических условий Ленинградской области. Сравнение COP показало, что уже при температурах наружного воздуха +10°C COP системы с фрикулингом в 2 раза выше (т.е. энергопотребление системы с фрикулингом и чиллером для работы в летний период по сравнению с системой на базе чиллера круглогодичной работы в теплом помещении в 2 раза ниже).

Комплексный анализ технико-экономических показателей сравниваемых систем показал, что дополнительные затраты на организацию системы с фрикулингом, в сравнении с чиллером для круглогодичной работы, в рассматриваемых условиях окупятся за счет экономии электроэнергии за 8,61 года. Следует учитывать, что полученное значение срока окупаемости может существенно отличаться при других климатических условиях или существенном изменении тарифов на энергоносители.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Руденко, Н. Н.** Оценка эффективности использования реверсивных чиллеров / Н. Н. Руденко, Т. А. Лященко // Инженерный вестник Дона. Строительство и архитектура. – 2017. – № 2(45). – С. 95.
2. **Руденко, Н. Н.** Оценка эффективности использования реверсивных чиллеров для отопления помещений / Н. Н. Руденко, Т. А. Лященко // Строительство и архитектура – 2015: материалы международной научно-практической конференции, Том 2. – Ростов-на-Дону: Редакционно-издательский центр РГСУ, 2015. – С. 245-246.
3. **Гаряев, А. Б.** Оценка масштабов и перспектив использования холода окружающей среды для экономии энергии / А. Б. Горяев, Ю. В. Коротке // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2018. – № 4. – С. 58-70.
4. **Руденко, Н. Н.** Использование аккумуляции холода в системе кондиционирования воздуха спортивного комплекса / Н. Н. Руденко, А. П. Пирожникова, В. А. Коробов // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 11(83). – С. 242-250.
5. **Стронгин, А. С.** Оценка эффективности систем холодоснабжения общественных зданий Часть 1. Энергоэффективность / А. С. Стронгин // Энергосбережение. – 2020. – № 2. – С. 58-61.
6. **Кожевникова, Н. Г.** Анализ энергоэффективности использования косвенного фрикулинга в технологиях хранения сельскохозяйственной продукции / Н. Г. Кожевникова, А. В. Драный, Н. А. Шевкун, В. А. Шевкун // Современные энергосберегающие тепловые и массообменные технологии (сушка, тепловые и массообменные процессы) СЭТМТ – 2023: Сборник научных трудов Восьмой Международной научно-практической конференции. – Москва: ООО "Мегаполис", 2023. – С. 296-300.
7. **Левенцов, А. А.** Фрикулинг. Можно ли удивить специалиста? / А. А. Левенцов // С.О.К. – 2005. – №4.
8. **Семенов, Ю. В.** Системы кондиционирования воздуха с поверхностными воздухоохладителями / Ю. В. Семенов. – Москва: Издательство Техносфера, 2014. – 272 с.
9. **Днепровская, П. Ю.** Об особенностях эксплуатации и оптимизационных исследованиях сухих вентиляторных градирен / П. Ю. Днепровская, А. Ю. Картуесова // Научные труды Калужского государственного университета имени К. Э. Циолковского: материалы докладов. – Калуга: ФГБОУ ВО "Калужский государственный университет им. К.Э.Циолковского", 2023. – С. 93-100.
10. **Маслаков, В.Н.** Метод расчета срока окупаемости естественного охлаждения (фрикулинга) / В.Н. Маслаков // Холодильная техника. – 2018. – № 2. – С. 44-48.

Поступила в редакцию 8 июля 2024

ON THE EXPEDIENCY OF FREECOOLING IN THE CIRCULATING WATER SUPPLY SYSTEM IN THE LENINGRAD REGION

S. F. Kudashev, E. S. Lapin, R. S. Lapin

Sergey Fedorovich Kudashev, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor of the Department of Thermal Power Systems, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, tel.: +7(927)199-09-91; e-mail: kudashev@internet.ru

Evgeniy Sergeevich Lapin, Cand. Sc. (Tech.), Senior Lecturer of the Department of Thermal Power Systems, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, tel.: + 7(927)199-09-99; e-mail: evgeniylapin@internet.ru

Roman Sergeevich Lapin, bachelor at the Department of Thermal Power Systems, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, tel.: +7(927)194-32-12; e-mail: roman.lapin.99@internet.ru

In the article we present the results of the analysis of energy consumption in two closed circulating water supply systems. The first option is a system with a chiller installed outdoors with antifreeze as a carrier and a dry cooling tower; the second option is a system with a chiller in a warm room and a "winter start". An aqueous solution of propylene glycol is considered as an antifreeze. Calculations were carried out for the actual climatic conditions of the Leningrad region and the same temperature conditions of consumers. We calculated the energy consumption based on the conversion coefficient (*COP*) of both variants. *COP* is calculated taking into account the energy consumption of pumping stations (hydraulic modules). Based on the energy consumption of the equipment and the cost of electricity, we drew some conclusions about the expediency of using freecooling for the system in question.

Keywords: freecooling; chiller; dry cooling tower; freon; circulating water supply; propylene glycol; intermediate heat exchanger.

REFERENCES

1. **Rudenko N. N., Lyashchenko T. A.** *Evaluation of the effectiveness of the use of reversible chillers.* Engineering Bulletin of the Don. Construction and architecture. 2017. No. 2(45). Pp. 95. (in Russian)
2. **Rudenko N. N., Lyashchenko T. A.** *Evaluation of the effectiveness of using reversible chillers for heating rooms* Construction and Architecture. 2015. materials of the international scientific and practical conference. Vol. 2. Rostov-on-Don. Editorial and Publishing Center of the Russian State Technical University. 2015. Pp. 245-246. (in Russian)
3. **Garyaev A. B., Korotke Yu. V.** *Assessment of the scale and prospects of using environmental cold to save energy.* Bulletin of the Moscow Energy Institute. Bulletin of the MEI. 2018. No. 4. Pp. 58-70. (in Russian)
4. **Rudenko N. N., Pirozhnikova A. P., Korobov V. A.** *The use of cold accumulation in the air conditioning system of a sports complex.* Engineering Bulletin of the Don. 2021. No. 11(83). Pp. 242-250. (in Russian)
5. **Strongin A. S.** *Evaluation of the efficiency of cooling systems in public buildings Part 1. Energy efficiency.* Energy saving. 2020. No. 2. Pp. 58-61. (in Russian)
6. **Kozhevnikova N. G., Draniy A. V., Shevkun N. A., Shevkun V. A.** *Analysis of the energy efficiency of the use of indirect freecooling in agricultural product storage technologies.* Modern energy-saving thermal and mass transfer technologies (drying, thermal and mass transfer processes) SETMT. 2023. Collection of scientific papers of the Eighth International Scientific and Practical Conference. Moscow, Megapolis LLC. 2023. Pp. 296-300. (in Russian)
7. **Leventsov A. A.** *Is it possible to surprise a specialist?* S.O.K. No. 4. 2005. (in Russian)
8. **Semenov Yu. V.** *Air conditioning systems with surface air coolers.* Moscow, Technosphere Publishing House, 2014. 272 p. (in Russian)
9. **Dneprovskaya P. Yu., Kartuyesova A. Yu.** *On the features of operation and optimization studies of dry fan cooling towers.* Scientific works of Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovsky. materials of reports. Kaluga, Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovsky. 2023. Pp. 93-100. (in Russian)
10. **Maslakov V. N.** *Method of calculating the payback period of natural cooling (freecooling).* Refrigeration technology. 2018. No. 2. Pp. 44-48. (in Russian)

Received 8 July 2024

Для цитирования:

Кудашев, С. Ф. О целесообразности фрикулинга в системе оборотного водоснабжения на территории Ленинградской области / С. Ф. Кудашев, Е. С. Лапин, Р. С. Лапин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 3(30). – С. 19-26. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.002.

FOR CITATION:

Kudashev S. F., Lapin E. S., Lapin R. S. *On the expediency of freecooling in the circulating water supply system in the Leningrad region.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 3(30). Pp. 19-26. DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.002. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.003

УДК 697.95

ОБОСНОВАНИЕ МИНИМАЛЬНО ТРЕБУЕМОГО РАСХОДА ПРИТОЧНОГО НАРУЖНОГО ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ

Д. В. Лобанов, И. И. Звенигородский, С. А. Сафонов, М. С. Кононова

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

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

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

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

Показана особенность современных методов расчета требуемого воздухообмена, заключающаяся в неполном учете физических параметров человека при определении расчетного воздухообмена. Обоснована необходимость учета в общественных зданиях не только степени тяжести выполняемой работы, но и возраста, пола, а также некоторых других физических параметров человека. Приведены расчеты на основе общественных зданий, в которых люди заняты умственным трудом. Представлены данные по потреблению кислорода, выделению углекислого газа, энергозатратам и требуемому количеству приточного воздуха для людей умственного труда. Определены минимальные и максимальные значения величины приточного воздуха с учетом возраста и коэффициента физической активности.

Ключевые слова: санитарная норма наружного воздуха; коэффициент физической активности; минимальный воздухообмен; качество воздуха.

Представленный в работе [1] анализ нормативных источников и современных научных исследований, показывает, что санитарная норма величины минимального воздухообмена в помещениях, принятая в прошлом столетии, требует корректировки. В частности, ее значение должно определяться с учетом категории тяжести выполняемой человеком работы (уровня энергозатрат при физической/умственной активности).

Задачей настоящего исследования является расчет минимально требуемого расхода чистого свежего воздуха (с минимальным содержанием вредных веществ, в том числе углекислого газа CO_2) для человека, занятого различными видами труда, необходимого для жизнедеятельности организма.

Рассмотрим подробнее алгоритм расчета требуемого расхода воздуха:

- ✓ определение величины основного обмена (ВОО, Вт) человека с учетом его физических параметров (пол, возраст, вес, рост);
- ✓ определение энергетических затрат, Вт, с учетом коэффициента физической активности (КФА);
- ✓ определение потребления кислорода O_2 с учетом его среднего энергетического (калорического) эквивалента, численно равному среднему количеству теплоты, выделяющейся при окислении белков, жиров и углеводов в организме человека и величины выделения углекислого газа CO_2 с учетом дыхательного коэффициента (ДК);

✓ определение требуемого количества (расхода) приточного воздуха, м³/ч с учетом коэффициента утилизации кислорода, плотности воздуха при нормальных физических условиях, объемной доли кислорода O₂ в атмосферном (наружном) воздухе.

Расчеты проводились на основе общественных зданий, в которых люди заняты умственным трудом. Согласно [2, 3] умственный труд по энергозатратам относят к легкой работе или к покою. Учитывая вышеизложенное, представим в табл. 1 энергозатраты организма человека с рассчитанными величинами потребления O₂ и выделения CO₂ для различных условий труда согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», [4].

Таблица 1

Зависимость потребления кислорода и выделения углекислого газа от энергозатрат человека

Категория работ по уровню энергозатрат	Источник	энергозатраты, Вт	энергозатраты, ккал/час	Потребление кислорода $V_{O_2}^{фак}$, л/ч	Дыхательный коэффициент (ДК)	выделение углекислого газа $V_{CO_2}^{факт}$, л/ч
Легкая, Ia	Сан-ПиН 1.2.3685-21	139	120	23,60	0,83	19,59
Легкая, Ib		140	120	23,77		19,73
		174	150	29,55		24,52
основной обмен	[4]	70	60	11,85		9,83
		87	75	14,81		12,29
в покое		87	75	14,81		12,29
		105	90	17,77		14,75
очень легкая работа		105	90	17,77		14,75
		174	150	29,62		24,59

Учитывая данные табл. 1, представим величины потребления O₂ и выделения CO₂ при умственной деятельности в табл. 2.

Таблица 2

Величины потребления O₂ и выделения CO₂ при выполнении умственной работы

Количественные показатели в соответствии с различными источниками			
[4]		СанПиН 1.2.3685-21	
потребление кислорода (O ₂) $V_{O_2}^{фак}$, л/ч	выделение углекислого газа (CO ₂) $V_{CO_2}^{факт}$, л/ч	потребление кислорода (O ₂) $V_{O_2}^{фак}$, л/ч	выделение углекислого газа (CO ₂) $V_{CO_2}^{факт}$, л/ч
14,81...29,62	12,29...24,59	23,60...29,55	19,59...24,52

Согласно [5] количество выдыхаемого CO₂ при умственной работе составляет от 12 до 30 л/ч (в силу индивидуальных показателей внешнего дыхания).

Итак, с учетом табл. 2 и [5], получим срез данных по потреблению O₂, выделению CO₂, энергозатратам и требуемому минимальному количеству приточного воздуха для людей умственного труда (табл. 3).

Таблица 3

Данные по потреблению O_2 , выделению CO_2 , энергозатратам и требуемому количеству приточного воздуха для людей умственного труда

Энергозатраты, Вт	Выделение углекислого газа CO_2 $V_{CO_2}^{факт}$, л/ч	Потребление кислорода O_2 $V_{O_2}^{факт}$, л/ч	Количество приточного воздуха $м^3/ч$,
85,14	12	14,46	0,230
92,24	13	15,66	0,249
99,33	14	16,87	0,268
106,43	15	18,07	0,288
113,52	16	19,28	0,307
120,62	17	20,48	0,326
127,71	18	21,69	0,345
134,81	19	22,89	0,364
141,90	20	24,10	0,383
149,00	21	25,30	0,403
156,09	22	26,51	0,422
163,19	23	27,71	0,441
170,28	24	28,92	0,460
177,38	25	30,12	0,479
184,47	26	31,33	0,498
191,57	27	32,53	0,518
198,67	28	33,73	0,537
205,76	29	34,94	0,556
212,86	30	36,14	0,575

Из табл. 3 следует, что расход минимально требуемого приточного воздуха (дыхания в том числе) для физиологических потребностей человека в помещениях умственного труда, составит от 0,23 до 0,575 $м^3/ч$, что согласуется с исследованиями, представленными в [6]. Однако, следует отметить, что данные величины отнесены к условному (среднему) человеку [7].

При этом необходимо учитывать, что вышеуказанные расходы воздуха требуются для нужд жизнедеятельности организма, а при организации систем вентиляции в помещениях следует учитывать эффективность их воздухораспределения, способность создавать и поддерживать заданные параметры и качество воздушной среды в эксплуатируемом объеме помещения.

Отметим, что согласно ГОСТ 30494-2011 наиболее эффективными являются системы персональной вентиляции [8, 9]. Однако, при их организации необходимо учитывать физические параметры (возраст, пол, а также вес и рост) и иные особенности человека (психотип, эмоциональное состояние и т.д.) [10]. Поэтому нами выполнены расчеты требуемого количества приточного воздуха при организации систем персональной вентиляции с учетом вышеизложенных особенностей человека.

Представим данные для мужчин с учетом предположения, что выполняемая ими работа имеет коэффициент физической активности (КФА) 1,4 (умственный труд) и 1,6 (легкая работа), согласно методических рекомендаций МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» (далее по тексту МР 2.3.1.0253-21), [3]. Сведем в табл. 4 результаты с указанием минимальных и максимальных значений расходов приточного воздуха

при различных КФА с учетом антропометрических данных (вес, рост) и возрастной группы мужчин.

Таблица 4

Значения минимальных и максимальных расходов приточного воздуха

Возрастная группа, лет	Количество приточного воздуха, м ³ /ч			
	КФА=1,4		КФА=1,6	
	Рост 155 см (вес от 50 до 130 кг)	Рост 195 см (вес от 50 до 130 кг)	Рост 155 см (вес от 50 до 130 кг)	Рост 195 см (вес от 50 до 130 кг)
18...29	0,25	0,29	0,29	0,34
	0,4	0,44	0,45	0,5
30...44	0,24	0,28	0,27	0,32
	0,38	0,43	0,44	0,49
45...64	0,22	0,27	0,25	0,31
	0,37	0,41	0,42	0,47
65...74	0,21	0,25	0,24	0,29
	0,35	0,40	0,4	0,46

Покажем на графике (рис. 1) минимальные и максимальные значения расхода приточного воздуха для мужчин с учетом их возраста, антропометрических данных (вес, рост), КФА.

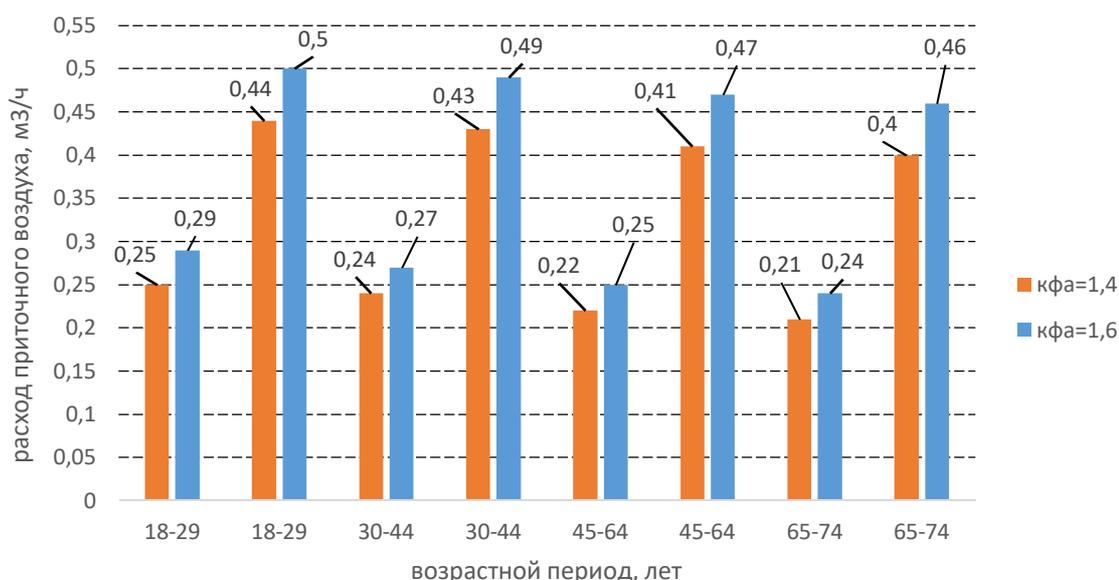


Рис. 1. Минимальные и максимальные значения величины приточного воздуха с учетом возраста и КФА

Таким образом, при организации систем персональной вентиляции в помещениях умственного труда величина подаваемого приточного воздуха, приходящегося на одного человека, с учетом его физиологических и физических данных, находится в диапазоне от 0,21 до 0,5 м³/ч (по данным рис. 1). Если учитывать индивидуальные показатели внешнего дыхания, выражающиеся в различных значениях частоты сердечных сокращений (ЧСС), то величина расхода приточного воздуха составит до 0,58 м³/ч (см. табл. 3).

Данные, полученные и описанные в данной статье, близки к величине, указанной в [6]. Отметим, что рассчитанного расхода приточного воздуха достаточно при подаче его к человеку без потерь в окружающую среду (дыхательные маски), что в реальной жизнедеятельности труднореализуемо. Однако, в системах персональной вентиляции [8, 9], кото-

рые возможно организовать в помещениях умственного труда с фиксированными рабочими местами, с подачей приточного воздуха в зону дыхания человека [11, 12], необходимо рассчитанный расход приточного воздуха (0,21...0,58 м³/ч) увеличить с учетом коэффициентов эффективности воздухораспределительных устройств.

Определим минимально требуемый расход кислорода и приточного воздуха, необходимый на нужды дыхания (для удовлетворения физиологических процессов организма), в зависимости от КФА, согласно МР 2.3.1.0253-21 и возраста для мужчин, занятых различной физической работой с учетом [13, 14], рис. 2...4.

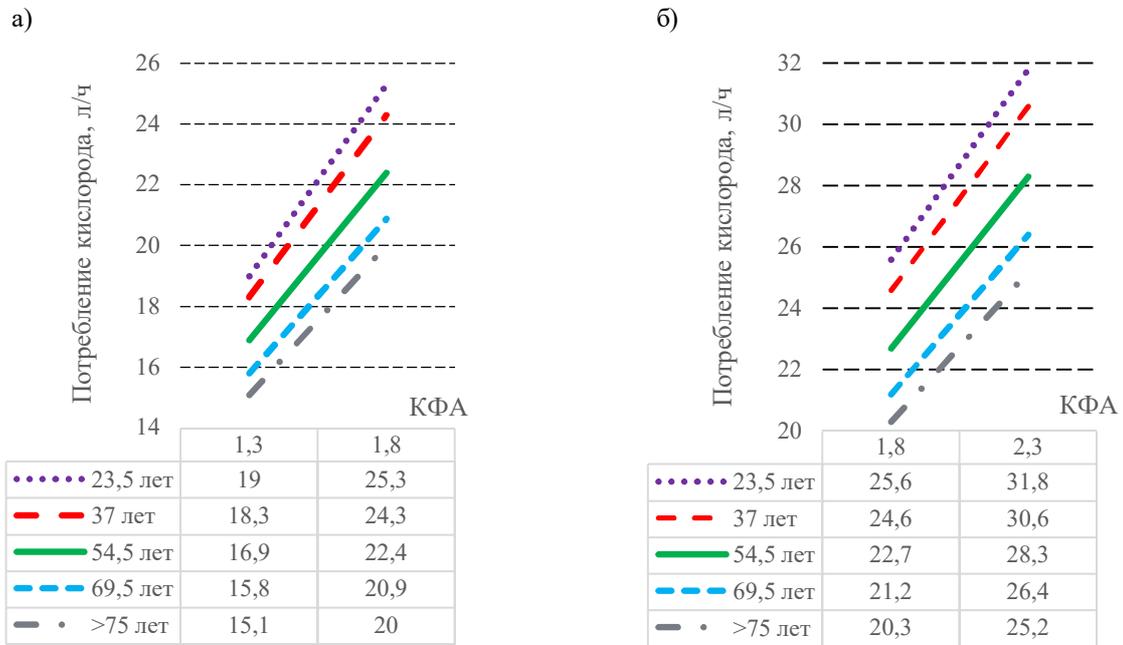


Рис. 2. Потребление кислорода мужчинами в зависимости от коэффициента физической активности: а – при выполнении легкой работы категории Ia; б – при выполнении легкой работы категории Ib

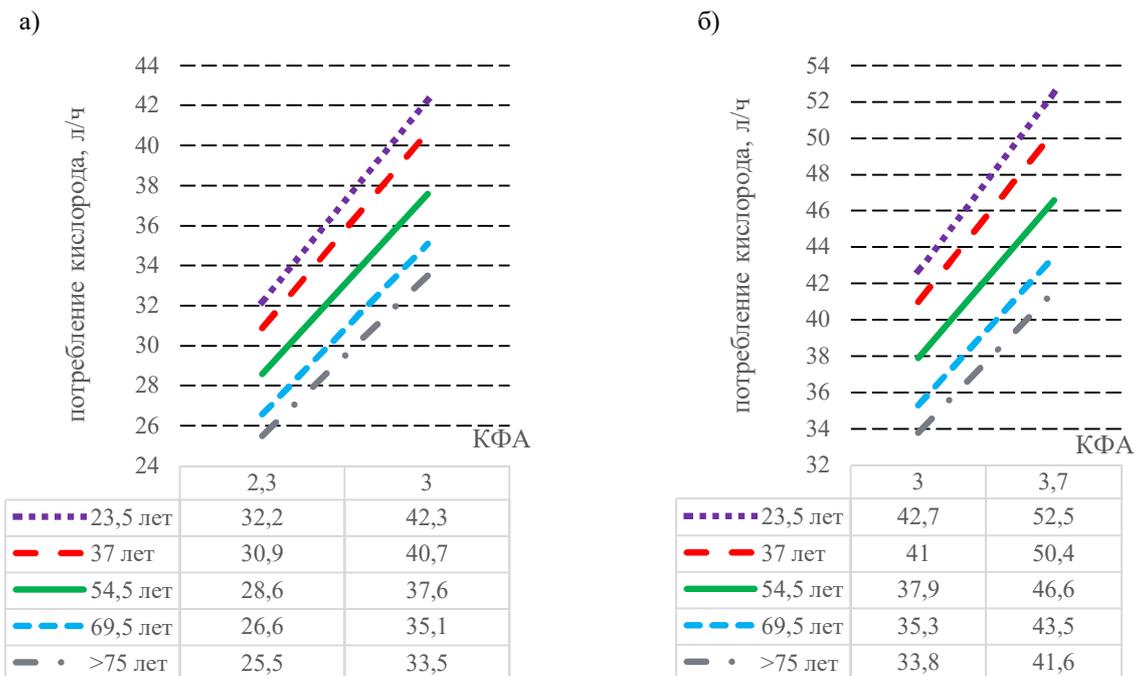


Рис. 3. Потребление кислорода мужчинами в зависимости от коэффициента физической активности: а – при выполнении работы средней тяжести IIa; б – при выполнении работы средней тяжести IIb

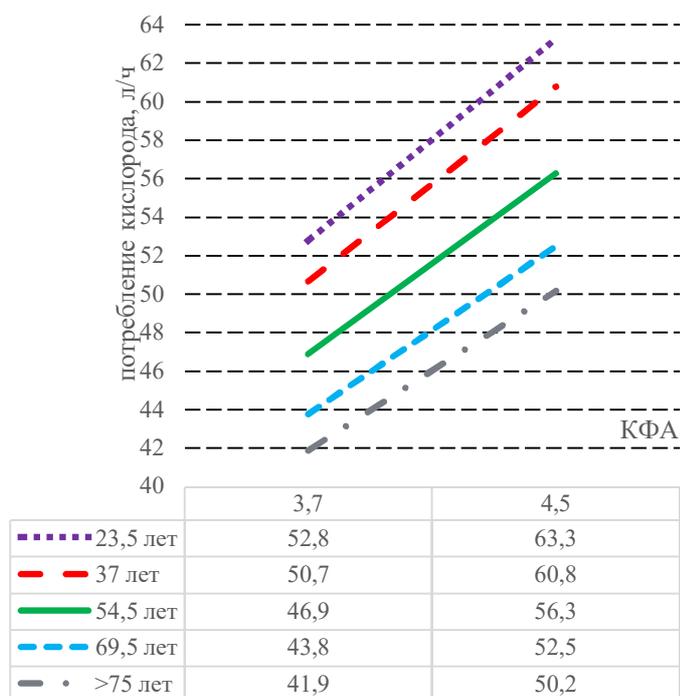


Рис. 4. Потребление кислорода мужчинами в зависимости от коэффициента физической активности при выполнении тяжелой работы III

Сведем в табл. 5 расходы воздуха, требуемого на нужды дыхания человека в зависимости от категории тяжести выполняемой работы.

Таблица 5

Возраст, лет	Расход приточного воздуха L, м ³ /ч на нужды дыхания (физиологические потребности) при различных значениях КФА									
	1,3	1,8	1,8	2,3	2,3	3	3	3,7	3,7	4,5
	Легкая работа, Ia		Легкая работа, Ib		Работа средней тяжести, IIa		Работа средней тяжести, IIб		Тяжелая работа, III	
До 23,5	0,3	0,4	0,41	0,51	0,51	0,67	0,68	0,84	0,84	1,01
24...37	0,29	0,39	0,39	0,49	0,49	0,65	0,65	0,8	0,81	0,97
38...54,5	0,27	0,36	0,36	0,45	0,46	0,6	0,6	0,74	0,75	0,9
55...69,5	0,25	0,33	0,34	0,42	0,42	0,56	0,56	0,69	0,7	0,84
> 75 лет	0,24	0,32	0,32	0,4	0,41	0,53	0,54	0,66	0,67	0,8

По данным табл. 5 видно, что расход воздуха, требуемый на нужды дыхания человека, составляет от 0,24 до 1,01 м³/ч.

Разумеется, что при создании систем вентиляции в помещениях с выполнением человеком физической работы организовать подачу приточного воздуха в зону дыхания практически нереально (вследствие отсутствия постоянного фиксированного рабочего места площадью 0,5...1 м²). Поэтому данные, представленные в табл. 5, возможно использовать при определении величины минимального воздухообмена для людей разных возрастов и профессий (например, эмоционально напряженного умственного труда) с учетом эффективности применяемых систем микроклимата.

Отметим, что объем подаваемого воздуха имеет важное значение при гигиенической оценке работы систем микроклимата. Его величина определяется следующим образом [15]:

- ✓ 2 м³/ч – для удовлетворения потребностей в кислороде;
- ✓ 6 м³/ч – для ограничения содержания СО₂ до 0,6 %;
- ✓ 12 м³/ч – для удаления запаха человеческого тела.

Применяя современные системы вентиляции и кондиционирования в совокупности с устройствами очистки воздуха можно добиться существенного снижения расхода приточного воздуха на удаление и/или разбавление иных вредных веществ без снижения эффективности работы вентиляционной системы, т.е. качества внутреннего микроклимата. При этом сокращение расхода наружного воздуха, очевидно, в большинстве случаев ведет к снижению капитальных и эксплуатационных затрат.

Заключение.

Официальные нормативы определяют минимальную санитарную норму подачи воздуха, учитывающую вид и количество выделяемых человеком вредных веществ. При этом наибольший расход воздуха требуется на ассимиляцию избытков теплоты, что не совсем корректно: их более рационально ассимилировать рециркуляционным охлажденным воздухом.

Для оптимизации воздухообмена в помещениях предложено определять требуемый расход приточного воздуха с учетом не только категории тяжести выполняемой работы, но и некоторых физических параметров человека (пол, возраст, вес, рост).

Полученные результаты возможно использовать при определении величины минимального воздухообмена для людей разных возрастов и профессий (например, эмоционально напряженного умственного труда) с учетом эффективности применяемых систем микроклимата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Лобанов, Д. В.** Особенности расчета величины минимального расхода приточного воздуха / Д. В. Лобанов, А. А. Мерщев, М. С. Кононова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 2(29). – С. 44-51. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.29.2.005.
2. **Шмидт, Р.** Физиология человека. В 3-х томах. Т. 3. / Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. – Москва: Мир, 1996. –198 с.
3. Физиология человека: учебник (в двух томах. Т. II). / В. М. Покровский, Г. Ф. Коротко, Ю. В. Наточин и др. / под ред. В. М. Покровского, Г. Ф. Коротко. – Москва: Медицина, 1997. – 368 с.
4. **Газенко, О. Г.** Основы космической биологии и медицины. Совместное советско-американское издание в трех томах. Том III / О. Г. Газенко, М. Кальвин. – Москва: «Наука», 1975. – 452 с.
5. Экспериментальные исследования поступления в помещение углекислого газа от человека, занятого умственным трудом / Д. В. Лобанов, И. И. Звенигородский, А. А. Мерщев, Р. А. Шепс // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 4(19). – С. 30-38.
6. **Брух, С. В.** Влияние особенностей метаболизма на воздушный баланс человека. Третье условие комфортности / С. В. Брух. // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2005. – № 6. – С. 84-87.
7. **Бурназян, А. И.** Краткий справочник по космической биологии и медицине. / А. И. Бурназян, Ю. Г. Нефедов, В. В. Ларин, В. Н. Правецкий, И. И. Хазен. – Москва: «Медицина», 1967.

8. **Капко, Д. В.** Персональная вентиляция. Время перейти от теории к практике! / Д. В. Капко, Р. В. Афанасьев // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2016. – № 5. – С. 18-23.

9. **Лобанов, Д. В.** Системы персональной энергосберегающей вентиляции офисных помещений / Д. В. Лобанов, А. А. Мерциев, С. А. Соловьев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2017. – № 3(2). – С. 60-69.

10. Обоснование учета комплекса физических параметров человека при проектировании систем вентиляции / Д. В. Лобанов, И. И. Звенигородский, Б. П. Новосельцев, М. С. Кононова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 1(20). – С. 48-58.

11. **Звенигородский И. И., Лобанов Д. В., Новосельцев Б. П.** Воздухораспределитель для подачи воздуха в зону дыхания человека, патент на полезную модель RU207364 U1 (Российская Федерация), МПК F24F 13/06 патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». - № 2021111074; заявл. 19.04.2021 ; – опубл. 25.10.2021, Бюл. № 30. - 9 с.

12. **Наумов А. Л., Капко Д. В.** Воздухораспределительное устройство для рабочего стола, патент на изобретение, RU2 497 048C1, МПК F24F 7/00. Патентообладатель: открытое акционерное общество "ЦНИИПромзданий". № 2012127479/12; заявл. 03.07.2012; опубл. 27.10.2013, Бюл. № 30. – 6 с.

13. **Газенко, О. Г.** Основы космической биологии и медицины, том II, книга 1, Экологические и физиологические основы космической биологии и медицины / О. Г. Газенко, М. Кальвин. – Москва: «Наука». – 1975.

14. **Сергиенко, Л. П.** Непрямые методы определения максимального потребления кислорода (обзор) / Л. П. Сергиенко // Слобожанский научно-спортивный вестник. – 2015. – № 1(45). – С. 109-122.

15. **Бурцев, С. И.** Судовые системы индивидуального комфортного кондиционирования воздуха (теория, схем. решения, принципы проектирования): дис. ... доктора технических наук: 05.04.03 / Сергей Иванович Бурцев; Санкт-Петербург, 1997. – 363 с.

Поступила в редакцию 18 сентября 2024

JUSTIFICATION OF THE MINIMAL OUTDOOR AIR REQUIREMENT IN VENTILATION SYSTEMS

D. V. Lobanov, I. I. Zvenigorodsky, S. A. Safonov, M. S. Kononova

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

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

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

Marina Sergeevna Kononova, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)271-28-92; e-mail: kniga18@mail.ru

In the article we show some characteristics of modern methods for calculating the required air exchange, which consists in incomplete consideration of human physical parameters when determining the calculated air exchange. We justify the necessity of taking into account in public buildings not only the severity of the work performed, but also age, gender, and some other physical parameters of a person. The calculations are based on public build-

ings data where people are engaged in mental labor. Here we present data on oxygen consumption, carbon dioxide emissions, energy consumption and the required amount of supply air for people of intellectual work. The minimum and maximum values of the supply air are determined, taking into account age and the coefficient of physical activity.

Keywords: sanitary norm of outdoor air; coefficient of physical activity; minimum air exchange; air quality.

REFERENCES

1. **Lobanov D. V., Mershchiev A. A., Kononova M. S.** *Features of calculating the minimum flow rate of supply.* Housing and communal infrastructure. 2024. No. 2(29). Pp. 44-51. DOI 10.36622/2541-9110.2024.29.2.005. (in Russian)
2. **Schmidt R., Tevs G.** *Human physiology. In 3 volumes.* Vol. 3. Moscow, Mir. 1996. 198 p. (in Russian)
3. **Pokrovsky V. M., Korotko G. F., Natochin Yu. V.** *Human physiology.* Textbook (in two volumes. Vol. II). Moscow, Medicine. 1997. 368 p. (in Russian)
4. **Gazenko O. G., Kalvin M.** *Fundamentals of Space Biology and Medicine,* Vol. III, Joint Soviet-American edition in three volumes. Space Medicine and Biotechnology. Moscow, Nauka. 1975. (in Russian)
5. **Lobanov D. V., Zvenigorodsky I. I., Mershchiev A. A., Sheps R. A.** *Experimental studies of the intake of carbon dioxide into the room from a person engaged in mental labor.* Housing and communal infrastructure. 2021. No. 4(19). Pp. 30-38. (in Russian)
6. **Bruch, S. V.** *The influence of metabolic features on human air balance.* The third condition of comfort. Plumbing, Heating, Air Conditioning. 2005. No.6. Pp. 84-87. (in Russian)
7. **Burnazyan A. I., Nefedov Yu. G., Larin V., V., Pravetsky V. N., Khazen I. I.** *A short guide to space biology and medicine.* Moscow, Medicine. 1967. (in Russian)
8. **Kapko D. V., Afanasyev R. V.** *Personal ventilation. It's time to move from theory to practice!* AVOK: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermophysics. 2016. No. 5. Pp. 18-23. (in Russian)
9. **Lobanov D. V., Mershchiev A. A., Solovyov S. A.** *Systems of personal energy-saving ventilation of office premises.* Housing and communal infrastructure. 2017. No. 3(2). Pp. 60-69.
10. **Lobanov D. V., Zvenigorodsky I. I., Novoseltsev B. P., Kononova M. S.** *Justification of taking into account the complex of human physical parameters in the design of ventilation systems.* Housing and communal infrastructure. 2022. No. 1(20). Pp. 48-58. (in Russian)
11. **Zvenigorodsky I. I., Lobanov D. V., Novoseltsev B. P.** *Air distributor for air supply to human breathing zone.* Utility model patent RU 207 364U1 (Russian Federation), IPC F24F 13/06 patent holder is Voronezh State Technical University. No. 2021111074; Appl. 19.04.2021; publ. 25.10.2021, bull. No. 30. 9 p. (in Russian)
12. **Naumov A. L., Kapko D. V.** *Air distribution device for a desktop.* Patent for invention, RU2 497 048C1, МПК F24F 7/00. Patent holder is Voronezh State Technical University. No. 2021111074; application. 04/19/2021; publ. 10/25/2021, Bul. No. 30. 9 p.
13. **Gazenko O. G., Kalvin M.** *Fundamentals of Space Biology and Medicine, Ecological and physiological foundations of space Biology and Medicine* Vol. II. Book 1. Moscow, Nauka. 1975. (in Russian)
14. **Sergienko L. P.** *Indirect methods for determining the maximum oxygen consumption (review).* Slobozhansky scientific and sports bulletin. 2015. No. 1(45). Pp. 109-122. (in Russian)
15. **Burtsev S. I.** *Shipboard systems of individual comfortable air conditioning (theory, schematics. solutions, design principles):* dis. ... Doctors of Technical Sciences: 05.04.03. St. Petersburg. 1997. 363 p. (in Russian)

Received 18 September 2024

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Обоснование минимально требуемого расхода приточного наружного воздуха в системах вентиляции / Д. В. Лобанов, И. И. Звенигородский, С. А. Сафонов, М. С. Кононова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 3(30). – С. 27-36. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.003.

FOR CITATION:

Lobanov D. V., Zvenigorodsky I. I., Safonov S. A., Kononova M. S. *Justification of the minimal outdoor air requirement in ventilation systems.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 3(30). Pp. 27-36. DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.003. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.004

УДК 614.838.52

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕНИЯ ВЗРЫВОЗАЩИТНОГО КЛАПАНА В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ

С. А. Яременко, О. И. Гайдаш, М. Н. Жерлыкина

Яременко Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, декан факультета инженерных систем и сооружений, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: iaremenko@cchgeu.ru

Гайдаш Олег Игоревич, аспирант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: gkh.kaf@cchgeu.ru

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

Приведены особенности проектирования энергоресурсоснабжающих объектов жилищно-коммунального хозяйства. Выявлено, что внешние воздействия природного и техногенного происхождения могут стать причиной развития на промышленном объекте нештатной ситуации. Представлено описание происхождения и развитие ударной волны и последствий на объектах промышленности. Акцентировано внимание на системе вентиляции как объекте, наиболее подверженном влиянию ударной волны. Для обеспечения безопасности промышленных объектов предложена установка взрывозащитных клапанов. Представлены граничные условия для эксплуатации взрывозащитных клапанов. Приведены результаты математического моделирования линейного полиномиального уравнение состояния. В среде численного моделирования ANSYS LS-DYNA поставлена двумерная задача, на первом этапе которой определяется расстояние от инициируемого заряда, на котором давление фронта ударной волны. Выполнено численное исследование по двум сценариям – с установкой взрывозащитного клапана и без него. Представлены результаты исследования зависимости давления от времени на подходе к клапану, давления от времени на подходе к клапану, давления от времени на датчиках. В результате численного моделирования нагружения вентиляционного универсального взрывозащитного клапана ударной волной установлена целесообразность его применения.

Ключевые слова: вентиляция; взрывозащищенный клапан; безопасность; ударная волна; датчик; численный эксперимент.

В настоящее время строительство любого вида сооружений от частных жилых домов до стратегических объектов специального назначения включает в себя предварительную подготовку проектной документации, важнейшей частью разработки которой является планирование инженерных сетей. Помимо прочих, одними из самых дорогостоящих и сложных при проектировании являются системы вентиляции и кондиционирования воздуха.

Объекты атомной энергетики являются одними из самых сложных сооружений, создаваемых человеком, к их строительству выдвигаются повышенные требования надежности, предусматриваются различные сценарии возникновения нештатных ситуаций и прорабатывается множество вариантов по их предотвращению. В частности, это относится к системам вентиляции и кондиционирования воздуха.

При проектировании любых промышленных зданий и сооружений в обязательном порядке учитывают особые нагрузки и воздействия – как природного, так и техногенного характера, способные повлечь повреждение или разрушение сооружений и привести к

серьезным экологическим и экономическим последствиям. Особое место среди опасных промышленных объектов занимают АЭС, а одним из важнейших вопросов, решаемых при обеспечении безопасности АЭС, является учет экстремальных природных и техногенных воздействий в соответствии с НП-064-05 (землетрясения, ураганы, смерчи, экстремальные снегопады, падение летательных аппаратов, взрывы и т.п.). Воздушная ударная волна (УВ) – как следствие одного из механических воздействий внешнего взрыва, относится к наиболее важным экстремальным техногенным воздействиям.

Проникая внутрь опасного промышленного объекта, сооружения гражданской обороны, атомной станции, УВ способна повредить основное технологическое оборудование и системы объекта, в том числе элементы и системы АЭС, важные для безопасности. Одним из основных источников проникновения воздушной УВ внутрь зданий и сооружений АЭС являются вентиляционные проемы.

Взрывозащитные вентиляционные клапаны, так же известные как устройства перекрытия вентиляционных каналов (УПК), являются специализированным изделием и предназначены для предотвращения воздействия воздушной УВ на систему вентиляции с целью отсечения зданий от наружной среды при воздействии воздушной УВ. Устанавливаются в местах забора наружного воздуха и удаления вытяжного воздуха. УПК обеспечивают безопасность, находящихся внутри здания людей и оборудования. Они должны сохранять прочность и работоспособность при воздействии УВ детонационного взрыва и волны сжатия дефлаграционного взрыва, как при действии положительной, так и отрицательной фазы сжатия [3].

Данный вид вентиляционных клапанов может применяться на заводах нефтегазовой промышленности, химических производствах и в местах хранения их готовой продукции, на фармацевтических заводах, атомных электростанциях (АЭС) и других сооружениях энергетической промышленности, в научных лабораториях, на складах боеприпасов и прочих объектах военного назначения, а также на объектах, потенциально подверженных террористическим атакам.

Классический вариант конструкции УПК представляет собой изделие прямоугольного сечения, состоящее из лопаток, тяги, рычагов и рамы, которая включает в себя горизонтальные и вертикальные стенки. Приходящая на лопатки клапана УВ создает крутящий момент относительно оси вращения лопаток, вследствие чего они закрываются, препятствуя дальнейшему распространению УВ по вентиляционным каналам. В исходное положение лопатки благодаря возвратным пружинам возвращаются автоматически после прекращения действия УВ.

УПК предназначены для отсечения потока воздуха и невзрывоопасных воздушных смесей, не содержащих волокнистых материалов, пыли и других твердых примесей в количестве, превышающем 100 мг/м^3 , в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, а так же для предотвращения перетекания радиоактивного воздуха по воздуховодам.

УПК сохраняют работоспособность вне зависимости от пространственной ориентации и плоскости их установки. УПК не подлежат установке в воздуховодах и каналах, помещений категорий А и Б взрывоопасности, в местных отсосах взрывоопасных смесей, в системах, в которых перемещаются среды с липкими и волокнистыми материалами, а также в тех системах, которые не подвергаются периодической очистке по установленному регламенту для предотвращения образования отложений.

УПК должны обеспечивать функцию безопасности, сохранять прочность и работоспособность при воздействии, вызванном падением самолета.

Нормальные значения климатических факторов внешней среды при эксплуатации УПК должны быть:

- ✓ в нерабочем состоянии (хранение и монтаж) - по ГОСТ 15150 для климатического исполнения ТМ, категории размещения 3, тип атмосферы ГУ;
- ✓ в рабочем состоянии в режиме нормальной эксплуатации – приточный;

✓ наружный воздух с температурой от минус 10 до +60 °С и влажностью до 100%. Температура вытяжного воздуха из зоны “контролируемого” или «свободного» доступа от +45 до +60 °С, относительная влажность до 80%;

Содержание коррозионно-активных агентов в воздухе: хлоридов до 0,026 мг/м³, сульфатов до 0,048 г/м.

Общий вид взрывозащитных устройств системы вентиляции с подвижными лопатками широко применяемые на объектах атомной, нефтегазовой и военной промышленности, представлен на рис. 1.

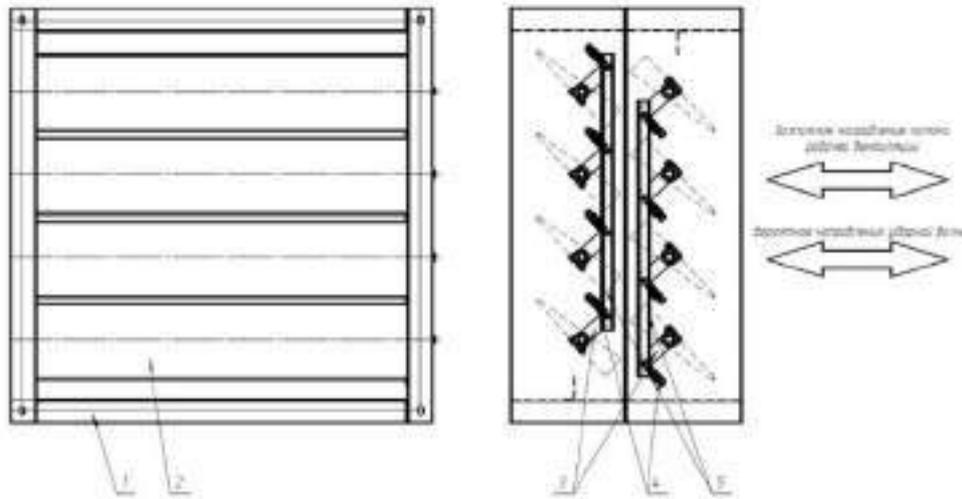


Рис. 1. Общий вид УПК-Л двустороннего действия:
1 – корпус; 2 – лопатка; 3 – рычаг; 4 – возвратная пружина; 5 – тяга

Согласно федеральным нормам и правилам НП-064-17 время автоматического закрытия лапток УПК-Л от воздействия воздушной УВ и волны сжатия дефлаграционного взрыва должно обеспечить величину избыточного давления в воздуховоде не более 5 кПа, при этом значение избыточного давления УВ, приходящей к клапану составляет 30 кПа.

Для анализа быстропротекающего процесса распространения фронта УВ и ее прохождения по профилю предлагаемой конструкции необходимо провести его численное моделирование.

Материал УПК – нержавеющая сталь AISI 316L. Модель прочности стали – Plastic Kinematic.

Законы сохранения представлены в виде зависимостей:

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \nabla_i v^i = 0, \quad (1)$$

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = \nabla_j \sigma_i^j, \quad (2)$$

$$\rho \frac{dE}{dt} = \sigma^{ij} \dot{\epsilon}_{ij}. \quad (3)$$

Соотношения для девиатора напряжений представлены в виде зависимостей:

$$\frac{dD_{\sigma^{ij}}}{dt} + 2G \dot{\alpha} D_{\sigma^{ij}} v = 2G (\dot{\epsilon}_{ij} + \frac{1}{3\rho} \frac{d\rho}{dt} g_{ij}), \quad (4)$$

$$\sigma_{ij} = D_{\sigma^{ij}} - (p + q) g_{ij}, \quad (5)$$

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2} (\nabla_i v_j + \nabla_j v_i). \quad (6)$$

Замыкающие соотношения представлены в виде зависимостей:

$$p = p(\rho, e, \lambda), \quad (7)$$

$$\sigma_T = \sigma_T(\dot{\epsilon}_{ij}, T, \dots), \quad (8)$$

$$\lambda = \lambda(p, e, \rho, \dots). \quad (9)$$

В качестве вредного вещества (ВВ) взят заряд ТНТ. Уравнение состояния для ВВ – уравнение Джонсона-Уилкинса-Ли (JWL) – позволяет с высокой точностью описывать свойства продуктов детонации:

$$p = A \cdot \left(1 - \frac{\omega}{R_1 \cdot V}\right) \cdot \exp(-R_1 \cdot V) + B \cdot \left(1 - \frac{\omega}{R_2 \cdot V}\right) \cdot \exp(-R_2 \cdot V) + \frac{\omega}{V} \cdot \bar{E}, \quad (10)$$

где V – относительный удельный объем, $V = \frac{\rho_0}{\rho} = \frac{v}{v_0}$; $A, B, C, R_1, R_2, \omega$ – эмпирические константы; \bar{E} – нормализованная энергия на единицу объема, $\bar{E} = \bar{E}_0 + \frac{p_H}{2} \cdot (1 - V_H)$; \bar{E}_0 – нормализованная величина, включающая энергию химических связей и определяемая из термохимического эксперимента или данных термодинамического расчета.

Линейное полиномиальное уравнение состояния является линейным относительно внутренней энергии. Давление определяется выражением:

$$P = C_0 + C_1\mu + C_2\mu^2 + C_3\mu^3 + (C_4 + C_5\mu + C_6\mu^2)E \quad (11)$$

где члены $C_2\mu^2$ и $C_6\mu^2$ задаются равными нулю, если выполняются условия $\mu < 0$, $\mu = \frac{\rho}{\rho_0} - 1$ отношение текущей плотности к начальной плотности.

Линейное полиномиальное уравнение состояния может использоваться для моделирования газа с уравнением гамма-состояния. Это может быть получено заданием коэффициентов:

$$C_0 = C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = 0, \quad (12)$$

$$C_4 = C_5 = \gamma - 1, \quad (13)$$

где γ – это отношение удельных теплоемкостей. Давление определяется формулой:

$$p = (\gamma - 1) \frac{\rho}{\rho_0} E. \quad (14)$$

Согласно федеральным нормам и правилам НП-064-17, для объектов использования атомной энергетики, значение избыточного давления на фронте УВ при подходе к клапану $P_H = 30$ кПа, что соответствует I степени опасности для сооружения ОИАЭ. При этом давление на выходе из клапана не должно превышать $P_K = 5$ кПа. Необходимо провести исследование на предмет соответствия предлагаемой конструкции УПВК техническим требованиям для АЭС.

В среде численного моделирования ANSYS LS-DYNA поставлена двумерная задача, на первом этапе которой определяется расстояние от инициируемого заряда, на котором давление фронта УВ соответствует 30 кПа. Это реализуется при помощи последовательно расположенных датчиков на пути распространения УВ. На втором этапе задачи профиль взрывозащитного вентиляционного клапана располагается на определенном ранее расстоянии от заряда и проводится анализ показаний датчиков. Заряд ВВ имеет пластинчатую форму и инициируется таким образом, чтобы в момент похода к УПВК фронт УВ был плоским. Сечение клапана составляет 500×500 мм, что является наиболее распространенным и универсальным типоразмером. Ниже представлена картина распространения фронта УВ по профилю клапана в различные моменты времени (рис. 2).

По данным датчиков получаем, что конструкция клапана обеспечивает давление на выходе $P_K = 0,328$ кПа, полученное значение на порядок меньше $P = 5$ кПа, установленного пунктом 3 федеральных норм и правил в области использования атомной энергии НП-064-17 «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии».

Для сравнительного анализа была поставлена задача, в которой взрывозащитный клапан отсутствовал. В этом случае датчик, определяющий давление на выходе, зарегистрировал избыточное давление $P = 8,58$ кПа, что превышает максимально допустимое значение $P = 5$ кПа. Графики изменения давления представлены на рис. 3 и рис. 4.

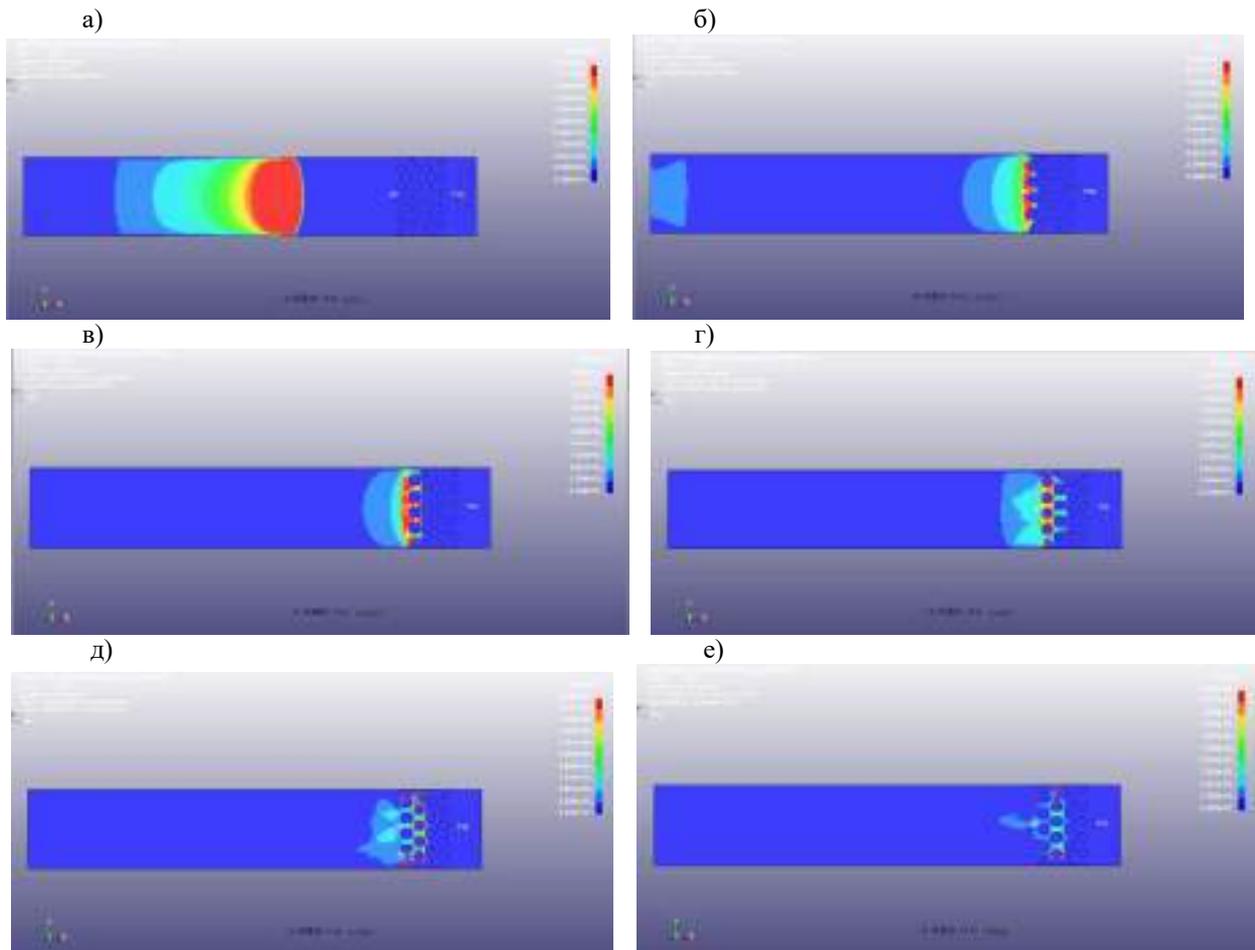


Рис. 2. Фронт УВ в момент времени t : а – 2 мс; б – 5 мс; в – 6 мс; г – 7 мс; д – 8 мс; е – 9 мс

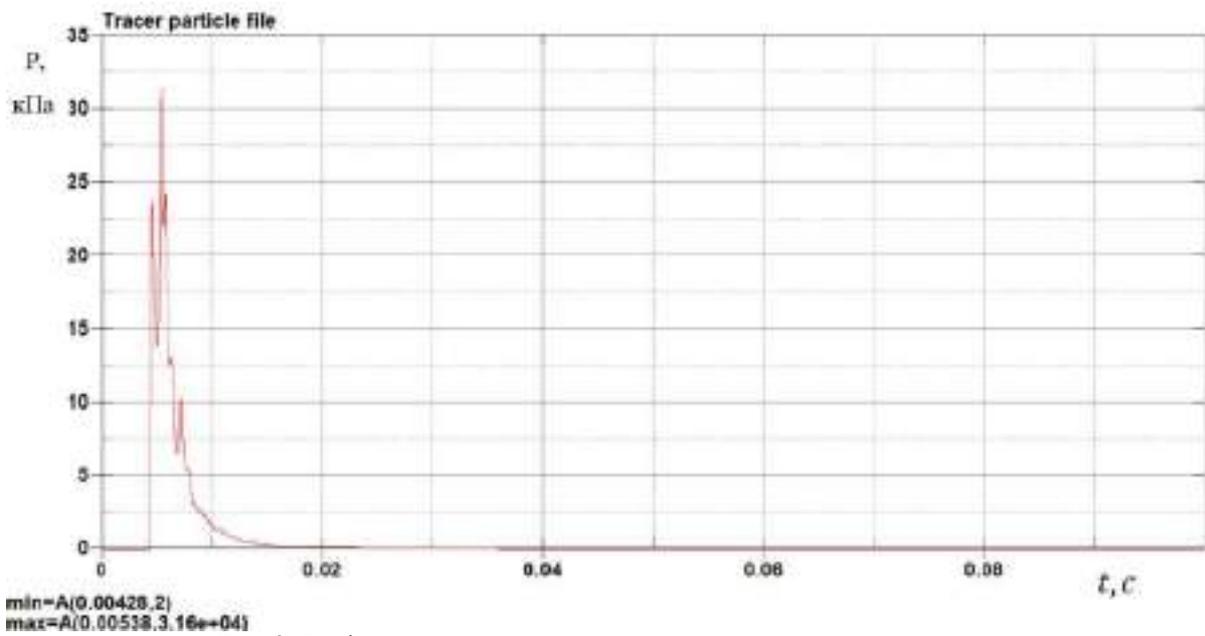


Рис. 3. График зависимости давления от времени на подходе к клапану

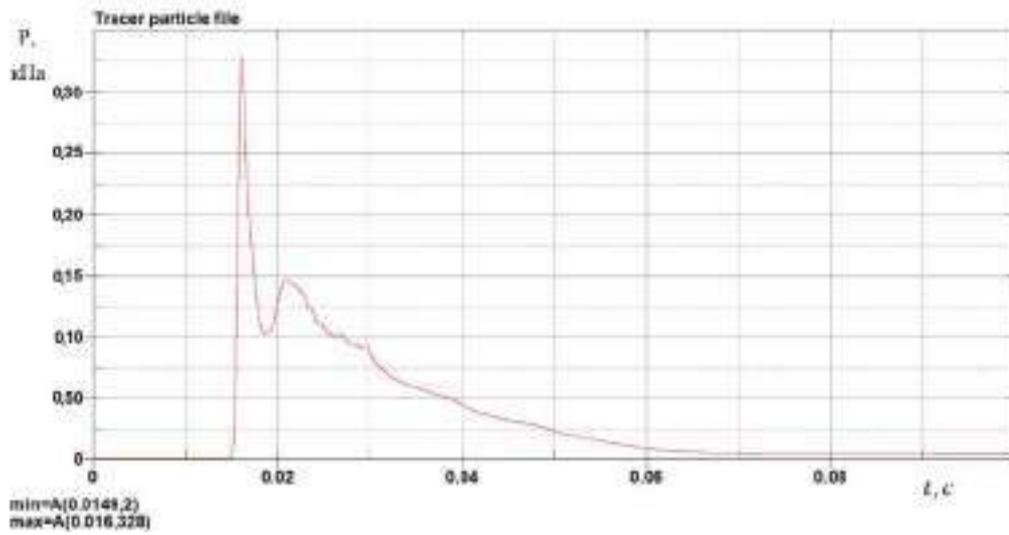


Рис. 4. График зависимости давления от времени на подходе к клапану

Исследование изменения давления при отсутствии клапана представлено на рис. 5 и рис. 6.

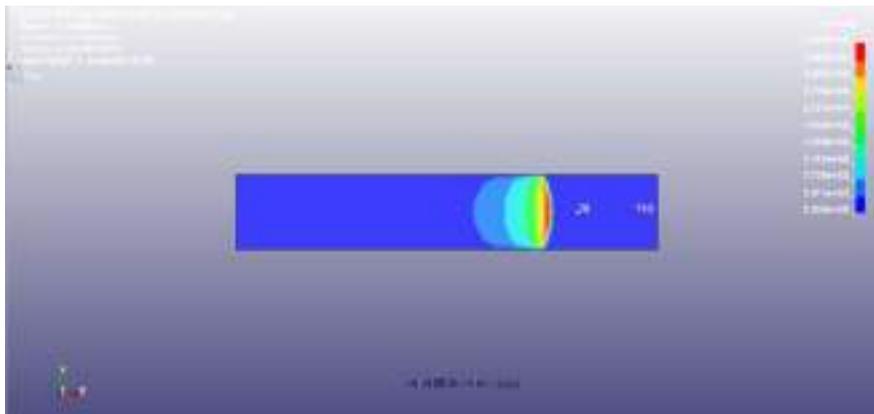


Рис. 5. Фронт УВ в момент времени $t = 3,5$ мс в задаче без УПВК

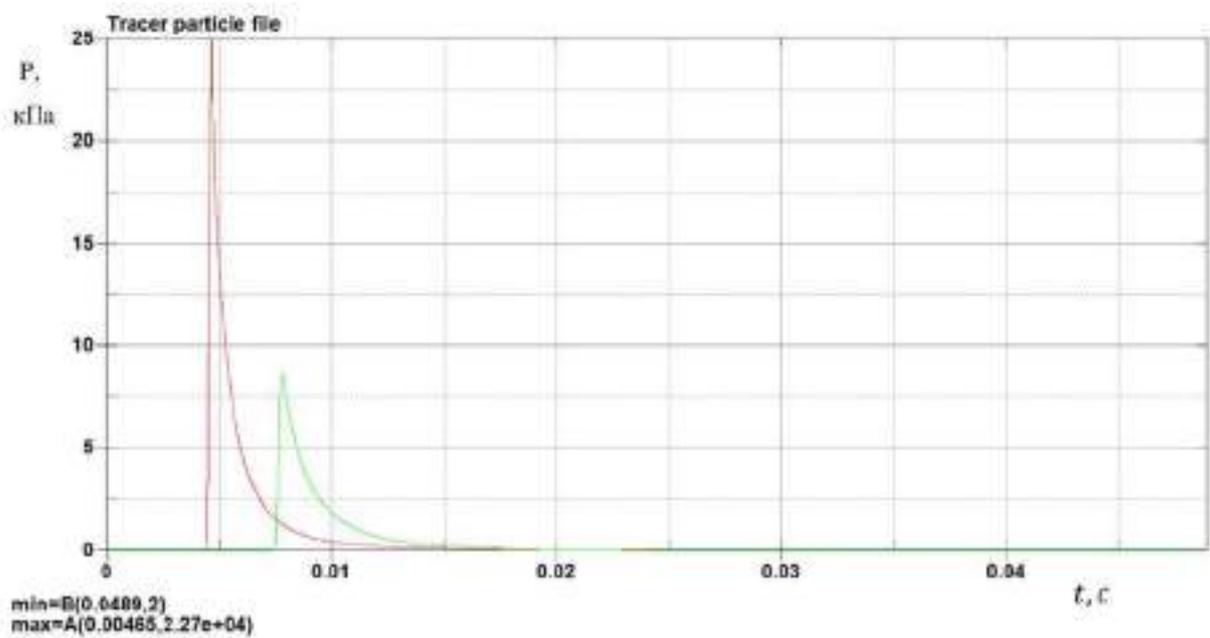


Рис. 6. График зависимости давления от времени на датчиках

Исходя из данных полученных при расчетах можно сделать вывод, что при одинаковых начальных давлениях $P_n = 30$ кПа использование клапана обеспечивает падение давления на 99 %, в случае же отсутствия клапана давление падает на 71 % и превышает допустимое значение, установленных федеральными нормами НП-064-17.

Заключение.

В результате аналитического исследования выявлены опасные ситуации, в результате которых возможны нештатные ситуации на энергоресурсоснабжающих объектах жилищно-коммунального хозяйства. Представлено и обосновано предложение по установке в системах вентиляции промышленных объектов взрывозащитных клапанов. В результате численного моделирования нагружения вентиляционного универсального взрывозащитного клапана ударной волной установлена целесообразность его применения. Для совершенствования существующих устройств в соответствии с федеральными нормами и правилами и учетом внешних воздействий природного и техногенного происхождения рекомендуется модернизировать современные конструкции универсальных взрывозащитных клапанов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Эльтерман, В. М.** Вентиляция химических производств / В.М. Эльтерман. – Москва: Химия, 1980. – 288 с.
2. **Полосин, И. И.** Динамика процессов промышленной вентиляции // Автореферат диссертации доктора технических наук. – Воронеж, 2001.
3. **Жерлыкина, М. Н.** Повышение эффективности аварийной вентиляции производственного помещения для обеспечения взрывобезопасности при выбросах химических веществ/ диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Воронеж, 2006. – 166 с.
4. **Дерепасов, А. В.** Исследование воздухообмена производственных помещений с проемами в перекрытиях / А. В. Дерепасов // Научный журнал. Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2017. – № 1. – С. 18-25.
5. Numerical study of the non-azeotropic mixture outflow in event accident in the building cooling system / M. N. Zherlykina, Yu. A. Vorobieva, M. S. Kononova, S. A. Yaremenko / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Science and Technology Conference "Earth Science", ISTC EarthScience 2022 – Chapter 4." 2022.
6. Реализация математической модели для оценки эффективности схем организации воздухообмена в цехах гальванопокрытий / И. И. Полосин, С. Н. Кузнецов, А. В. Портяников, А. В. Дерепасов // Приволжский научный журнал. – 2009. – № 2(10). – С.42-47.
7. **Гримитлин, А. М.** Отопление и вентиляция производственных помещений / А. М. Гримитлин, Т. А. Дацюк. – Санкт-Петербург: АВОК Северо-Запад, 2007. – 399 с.
8. Энергетические спектры пульсационной скорости в свободных турбулентных вентиляционных потоках / С. А. Яременко, И. И. Переславцева, Н. А. Руднева, В. А. Малин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 3 (8). – С. 32-38.
9. **Скрышник, А. И.** Расчетная модель определения наиболее вероятной величины вентиляционного выброса химических веществ при аварийной ситуации / А. И. Скрышник, М.Н. Жерлыкина // Известия ВУЗов. Строительство. –Новосибирск, 2004. – № 5. – С.72-75.
10. **Zherlykina, M. N., Kononova, M. S., Vorobeva, Y. A.** Emergency ventilation industrial premises of chemical industry enterprises / M. N. Zherlykina, M. S. Kononova, Y. A., Vorobeva / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. "International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety – 4. Construction Technology and Organization" 2019. С. 044016.

Поступила в редакцию 24 сентября 2024

MATHEMATICAL MODELING OF LOADING OF AN EXPLOSION-PROOF VALVE IN VENTILATION SYSTEMS

S. A. Yaremenko, O. I. Gaidash, M. N. Zherlykina

Sergey Anatolevich Yaremenko, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Dean of the Faculty of Engineering Systems and Sanitary Constructions, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: iaremenko@cchgeu.ru

Oleg Igorevich Gaidash, post-graduate student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: gkh.kaf@cchgeu.ru

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

The article presents the features of the design of energy supply facilities of housing and communal services. It has been revealed that external influence of natural and man-made origin can cause development of an emergency situation at an industrial facility. The article describes the origin and development of the shock wave and its consequences at industrial facilities. Attention is focused on the ventilation system as the object most affected by the shock wave. To ensure the safety of industrial facilities, we propose the installation of explosion-proof valves. We also demonstrate the boundary conditions for the operation of explosion-proof valves. Besides, we present the results of mathematical modeling of a linear polynomial equation of state. In the ANSYS LS-DYNA numerical simulation environment, a two-dimensional task is set, at the first stage of which the distance from the initiated charge is determined. We performed a numerical study on two scenarios, namely with and without the installation of an explosion-proof valve. We present the results of the study of dependence of pressure on time when approaching to the valve and we also show the results of the study of dependence of pressure on time on the sensors. As a result of numerical simulation of the loading of a ventilation universal explosion-proof valve by a shock wave, we have established the expediency of its application.

Keywords: ventilation; explosion-proof valve; safety; shock wave; sensor; numerical experiment.

REFERENCES

1. **Elterman V. M.** *Ventilation of chemical manufactures*. Moscow, Chemistry. 1980. 288 p. (in Russian)
2. **Polosin I. I.** Dynamics of processes of industrial ventilation. Voronezh. 2001. (in Russian)
3. **Zherlykina M. N.** *Increase of efficiency of emergency ventilation of industrial premises for maintenance of explosion safety at emissions of chemical substances*. The dissertation of the candidate of engineering sciences. Voronezh. 2006. 166 p.
4. **Derepasov A. V.** *Research air exchange production premises with holes in the overlappings*. Housing and utilities infrastructure. 2017. No. 1(1). Pp. 18-25. (in Russian)
5. **Zherlykina M. N., Vorobieva Yu. A., Kononova M. S., Yaremenko S. A.** *Numerical study of the non-azeotropic mixture outflow in event accident in the building cooling system*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Issue. "International Scientific and Technology Conference "Earth Science", ISTC EarthScience 2022. Chapter 4." 2022.
6. **Polosin I. I.** *Realisation of mathematical model for an estimation of efficiency of schemes of the organisation of air exchange in shops Galvanocoverings*. Privolzhsky scientific bulletin. 2009. No. 2(10). Pp.42-47. (in Russian)

7. **Grimitlin A. M.** *Heating and ventilation of industrial premises*. St.-Petersburg, the Northwest AVOK. 2007. 399 p. (in Russian)
8. **Yaremenko S. A.** *Energy spectra of the pulsation velocity in free turbulent ventilation flows*. Scientific journal. Engineering systems and facilities. 2012. No. 3(8). Pp. 32-38. (in Russian)
9. **Skrypnik A. I.** *Calculation model for determining the most probable value of venting of chemical substances in an emergency situation*. News of Universities. Building. Novosibirsk. 2004. No. 5. Pp.72-75. (in Russian)
10. **Zherlykina M. N., Kononova M. S., Vorobeva Y. A.** *Emergency ventilation industrial premises of chemical industry enterprises*. IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering. Issue. "International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety - 4. Construction Technology and Organization" 2019. Pp. 044016.

Received 24 September 2024

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Яременко, С. А. Математическое моделирование нагружения взрывозащитного клапана в системах вентиляции / С. А. Яременко, О. И. Гайдаш, М. Н. Жерлыкина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 3(30). – С. 37-45. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.004.

FOR CITATION:

Yaremenko S. A., Gaidash O. I., Zherlykina M. N. *Mathematical modeling of loading of an explosion-proof valve in ventilation systems*. Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 3(30). Pp. 37-45. DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.004. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.005

УДК 621.1.016.7

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ТЕПЛОЕМКОСТИ ГАЗОВ

Д. Н. Китаев, О. А. Куцыгина

Китаев Дмитрий Николаевич, канд. техн. наук., доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(960)100-88-01; e-mail: dkitaev@cchgeu.ru

Куцыгина Ольга Александровна, доктор 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

При расчете и конструировании теплотехнических устройств точный расчет теплоемкости рабочего тела является первостепенной задачей, влияющей на значение количества теплоты и характеристики оборудования. В настоящее время продолжают использоваться подходы к вычислению теплоемкости, не обеспечивающие максимальной адекватности полученных результатов. Для метана, воздуха и водяного пара представлены аппроксимационные уравнения истинной изобарной теплоемкости от температуры в положительных диапазонах температур в виде полиномов преимущественно 8-й и 9-й степени, обеспечивающие максимальную точность аппроксимации. Полученные уравнения позволяют повысить точность инженерных расчетов, избежать ошибок, связанных с линейной аппроксимацией нелинейной функциональной зависимости теплоемкости от температуры.

Ключевые слова: теплоемкость; аппроксимация; оптимизация; теплотехника; теплогенерирующие установки.

Тенденцией совершенствования инженерных расчетов является повышение их точности. С массовым внедрением персональных компьютеров в проектную деятельность появилась возможность решать современные задачи на высоком техническом уровне с привлечением математических методов. Трудно решаемые задачи прошлого века, требовавшие значительного времени и высоких компетенций инженера стали доступны и разрешимы. Например, вышедшие в последние годы государственные стандарты в области определения физических свойств природного газа, требуют реализации вычислительных итерационных методов для нелинейных уравнений и их систем с точностью не менее 0,001 [1]. Устаревшие допущения в погрешностях в несколько процентов, как правило, в настоящее время являются ошибочными, не приводящими к оптимальным инженерным решениям. Технические решения в области инженерной инфраструктуры требуют минимальных погрешностей вычислений. Широко используемые базы данных по теплофизическим свойствам веществ при реализации вычислительных алгоритмов на ЭВМ требуют применения высокоточных аппроксимационных уравнений [2].

Недостаточный уровень информационных технологий в прошлом веке обусловил широкое распространение метода замены нелинейных зависимостей линейными, и применения их для вычисления физических свойств веществ, используемых в инженерных системах. Одной из важнейших физических величин, используемых при проектировании теплотехнических устройств коммунальной инфраструктуры, является теплоемкость. Даже в современных учебниках и задачниках продолжают рассматриваться методы линейной зависимости теплоемкости идеальных газов от температуры [3].

Впервые в русскоязычных учебниках на переменность теплоемкостей c_p и c_v и их зависимости от температуры в 1900 г. указывает А. А. Радциг и приводит для воздуха линейные формулы Цейнера. Одной из первых работ, систематизирующих и обобщающих

известные данные начала 20-го века, был учебник Мостовича К. Я., вышедший в 1915 г. Автором приводится общая формула зависимости истинной теплоемкости от температуры газа, впоследствии широко используемая в изданиях различных лет:

$$c = a + bt + dt^2 + \dots \quad (1)$$

Ястержембский А. С. в учебнике 1933 г. обобщает данные по теплоемкостям и указывает, что для двухатомных газов теплоемкость рассматривается как линейная функция температуры. Автор приводит линейные формулы Лангена-Шребера для двухатомных газов, более точные квадратные и кубические формулы Партингтона-Шиллинга, Гольборна-Геннинга, Пира для некоторых газов и диапазонов температур. Авторами предлагались различные формулы зависимости теплоемкости от температуры. Формулы имеют вид от линейных до кубических. Также применяется способ разбиения интервала температур на два и использование в них разных формул. Подходы к рассмотрению теплоемкости идеальных газов сформировались в отечественной литературе в начале 20 века, и принципиально не изменились до настоящего времени.

Анализ современных публикации прикладной тематики, позволяет сделать вывод о том, что современные авторы стремятся использовать уравнения более высоких степеней, в частности кубические для рабочих интервалов различных устройств [4...9]. Не смотря на значительные ошибки, линейные уравнения также продолжают использоваться в настоящее время. Часто авторы не указывают в своих работах на значения погрешности вычислений [10]. В ряде публикаций использование линейных моделей для продуктов сгорания топлив в диапазонах температур в несколько сотен градусов Цельсия приводит к ошибкам 0,4, 1, 1,8 % [11...12]. В итоге ошибки в вычислении конечных температур в двигателях внутреннего сгорания, турбинах, теплогенерирующих установках могут достигать десятков градусов. Использование линейных и даже квадратных уравнений для аппроксимации теплоемкости таких веществ, как водяной пар, азот, углекислый газ, содержащихся в продуктах сгорания жидкого топлива, способствует ошибкам вычислений в диапазоне $1 \div 7,8\%$ в температурном диапазоне 1500 °C [13, 14].

Вопрос определения степени полинома для обеспечения максимальной точности аппроксимации экспериментальных данных по теплоемкостям часто используемых в теплотехнике газов не достаточно полно освещен в современной литературе. Рассмотрим подобную задачу на примере трех широко используемых сред, представляющих собой воздух, водяной пар, метан (CH₄).

Увеличение степени полинома относят к способам увеличения точности аппроксимационных моделей. На практике, как правило, используют многочлены невысоких степеней, что позволяет избежать погрешностей расчета коэффициентов при больших степенях. Увеличение точности аппроксимации в узлах не всегда приводит к улучшению качества приближения функции. При достижении некоторой степени полинома возможно и ухудшение в адекватности. В конечном итоге может возникнуть феномен Рунге, который заключается в появлении возрастающих осцилляций при интерполяции полиномами высокой степени. В качестве исходных данных были взяты экспериментальные данные по теплоемкостям М.П. Вукаловича, широко используемые в теплотехнических справочниках (рис.1). Для воздуха, водяного пара и метана значения истинных мольных изобарных теплоемкостей приводятся соответственно в диапазонах от 0 до 2500, 2900 и 1200 °C с интервалом в 100 °C. При достаточном числе точек для аппроксимации и обеспечения высокой точности был использован метод наименьших квадратов. Аппроксимационное уравнение будем искать в виде полинома степени k вида

$$\hat{c}_p = \sum_{j=0}^k a_j t^j . \quad (2)$$

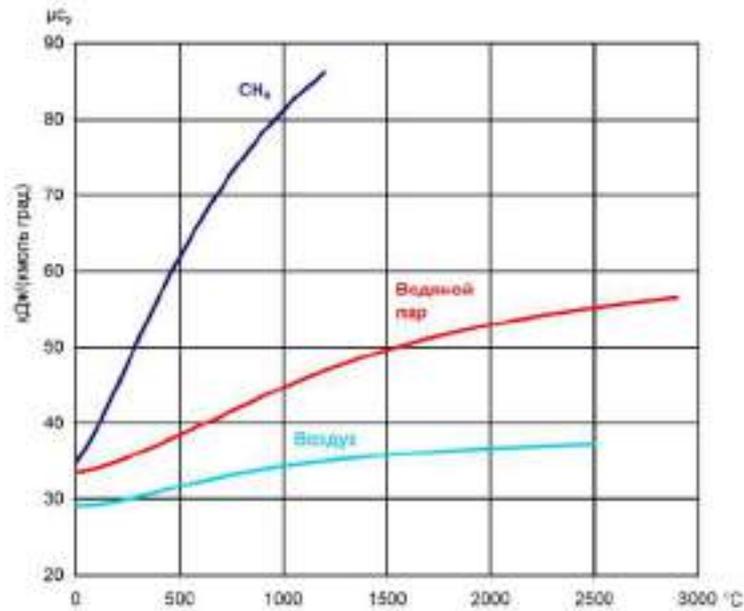


Рис. 1. Зависимость истинной мольной изобарной теплоемкости метана, воздуха и водяного пара от температуры

В таблице представлены значения коэффициентов уравнения (2), обеспечивающие максимальную точность. На рис. 2 представлены значения средней относительной погрешности для всего диапазона температур при степени полинома $k \geq 2$.

Коэффициенты a_j уравнения (2)

a_j	Газ		
	Воздух	Водяной пар	Метан
a_9	$2,553722393 \cdot 10^{-28}$	$-1,487798154 \cdot 10^{-28}$	-
a_8	$-2,998657507 \cdot 10^{-24}$	$1,985510801 \cdot 10^{-24}$	$0,04255052 \cdot 10^{-21}$
a_7	$1,459906854 \cdot 10^{-20}$	$-1,10420083 \cdot 10^{-20}$	$-0,2517326 \cdot 10^{-18}$
a_6	$-3,758463228 \cdot 10^{-17}$	$3,31422321 \cdot 10^{-17}$	$0,06367028 \cdot 10^{-14}$
a_5	$5,293392045 \cdot 10^{-14}$	$-5,846302132 \cdot 10^{-14}$	$-9,111258 \cdot 10^{-13}$
a_4	$-3,451763808 \cdot 10^{-11}$	$6,349400001 \cdot 10^{-11}$	$8,226105 \cdot 10^{-10}$
a_3	$-2,440377174 \cdot 10^{-09}$	$-4,674812198 \cdot 10^{-08}$	$-4,862624 \cdot 10^{-7}$
a_2	$1,457521942 \cdot 10^{-05}$	$2,525505302 \cdot 10^{-05}$	$1,601684 \cdot 10^{-4}$
a_1	$4,194415836 \cdot 10^{-04}$	$3,739738748 \cdot 10^{-03}$	$3,354449 \cdot 10^{-2}$
a_0	29,07537448	33,49094118	34,73779

Из рис. 2 следует, что для водяного пара и воздуха наиболее точные значения получаются при использовании полиномов девятой степени, а для метана восьмой, при этом значения средней относительной ошибки по всему диапазону температур составляют соответственно 0,021%, 0,01 %, 0,006 %. Дальнейшее увеличение степени полинома приводит к увеличению ошибки. Полученные уравнения позволяют повысить точность инженерных расчетов, избежать ошибок, связанных с линейной аппроксимацией нелинейной функциональной зависимости теплоемкости от температуры.

В нормативном методе теплового расчета теплогенерирующих установок (ТГУ) средняя теплоемкость воздуха, продуктов сгорания и горючих газов приводится в интервале от 0 до t с шагом в 100 °С. Нормативный метод теплового расчета ТГУ в редакции 1973 г. содержит данные по теплоемкостям М. П. Вукаловича, а в редакции 1998 г., рекомендованной действующим СП по проектированию, с округленным переводным коэффициентом 4,19. При расчете смеси продуктов сгорания топлив с применением линейной ин-

терполяции в промежуточных диапазонах температур, ошибка определения теплоемкости возрастает. При расчете теплогенерирующих установок погрешности в значениях теплоемкостей приводят к ошибкам в энтальпиях продуктов сгорания и в последующих технико-экономических параметрах, которые в денежном эквиваленте в годовом разрезе или за отопительный период могут быть существенными [15]. Повышение точности расчета теплоемкостей способствует нахождению оптимальных конструктивных решений устройств, в которых рабочей средой являются продукты сгорания различных топлив.

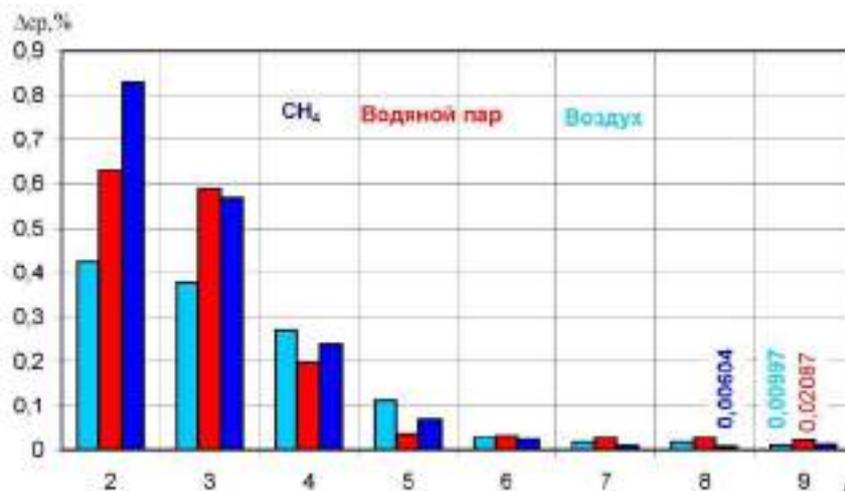


Рис. 2. Средние значения относительной погрешности полиномов

Заключение.

Установлено, что, линейные уравнения для определения теплоемкости газов, которые продолжают использоваться в настоящее время при решении различных инженерных и научных задач, могут давать вычисления со значительными погрешностями.

На примере метана, воздуха и водяного пара показано, что использование аппроксимационных уравнений в виде полиномов высоких степеней способствуют значительному повышению точности. Для рассмотренных газов максимальная точность аппроксимации достигается при 8 и 9-й степени полинома.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Китаев Д. Н., Ивлева Е. В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Программа расчета температуры точки росы природного газа по воде и массовой концентрации водяных паров упрощенным методом. RU 2024664650, 21.06.2024. Заявка №2024663711 от 17.06.2024.

2. Китаев, Д. Н. Аппроксимационные полиномы теплоемкости идеальных газов: монография / Д. Н. Китаев, С. Г. Тульская, Т. В. Щукина. – Воронеж: Издательство ВГТУ, 2024. – 130 с.

3. Китаев, Д. Н. Зависимость теплоемкости газа от температуры в современных инженерных расчетах / Д. Н. Китаев // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2024. – № 1. – С. 166-170.

4. Представление средней мольной теплоемкости продуктов сгорания ДВС линейными зависимостями от температуры и коэффициента избытка воздуха / А.В. Бажинов, А.И. Гарбовицкий, В. В. Крутских, А.С. Никулов // Вестник ХНАДУ. – 2012. – № 56. – С. 51-54.

5. Представление зависимостей средних мольных теплоемкостей газов, содержащихся в продуктах сгорания ДВС, от температуры полиномами первой степени / А. В.

Бажинов, А. И. Гарбовицкий, В. В. Крутских, А. П. Зюбан // Вестник ХНАДУ. – 2012. – № 56. – С. 55-60.

6. **Колчин, А. И.** Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учебное пособие для вузов – 3-е изд. / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – Москва: Высшая школа, 2003. – 220 с.

7. **Карышев, А. К.** К вопросу расчета теплофизических свойств природного газа и его продуктов сгорания / А. К. Карышев, А. А. Жинов, Д. В. Шевелев // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2015. – № 4(4). – С. 29-37.

8. **Пыленок, Д. А.** Изменение теплоемкости газообразных продуктов горения во время пожара в закрытом помещении / Д. А. Пыленок, В. А. Наумов // Вестник молодежной науки. – 2017. – № 5(12). – С. 20.-25

9. **Гнитиёв, П. А.** Исследование теплообменных характеристик продуктов сгорания при сжигании биогаза / П. А. Гнитиёв // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2017. – № 5(127). – С. 67-71.

10. **Хвостов, А. А.** Интерполяция значений удельной теплоемкости азота, кислорода и их смесей в двухфазной области жидкость-пар / А. А. Хвостов, А. А. Журавлев, Д. И. Целюк // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2018. – № 3(13). – С. 21-27.

11. **Фролов, С. М.** Расчет рабочего процесса в дизеле с уравнением состояния реального газа / С. М. Фролов // Горение и взрыв. – 2019. – Т. 12. – № 1. – С. 73 – 83.

12. **Кузнецов, Н. М.** Теплоемкость и энтальпия насыщенных углеводородов (алканов) в состоянии идеального газа / Н. М. Кузнецов, С. М. Фролов // Горение и взрыв. – 2020. – Т. 13. – № 2. – С. 113-117.

13. **Соболенко, А. Н.** Расчет теплоемкости продуктов сгорания газомоторного топлива в дизелях / А. Н. Соболенко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2019. – № 2. – С. 48-55.

14. **Соболенко, А. Н.** Расчет теплоемкости продуктов сгорания компримированного газового топлива марок «А» и «Б» в дизелях / А. Н. Соболенко, М. В. Флорианская // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2021. – № 2. – С. 65-74.

15. Использование цифровых технологий в тепловом расчете теплогенерирующих установок / Д. Н. Китаев, А. Т. Курносов, А. В. Черемисин, З. С. Гасанов // Инженерные системы и сооружения. – 2020. – Т.2. – № 1(39). – С. 114-118.

Поступила в редакцию 19 сентября 2024

IMPROVING THE ACCURACY OF GASES HEAT CAPACITY CALCULATION

D. N. Kitaev, O. A. Kutsygina

Dmitry Nikolaevich Kitaev, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor at the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(960)100-88-01; e-mail: dkitaev@cchgeu.ru

Olga Aleksandrovna Kutsygina, Dr. Sc. (Tech.), Professor at the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(960)113-93-28; e-mail: okuzygina@cchgeu.ru

When calculating and designing heat engineering devices, accurate calculation of the heat capacity of the working fluid is a primary task that affects the value of the amount of heat and the characteristics of the equipment. At present, approaches to calculating heat capacity that do not provide maximum adequacy of the results obtained continue to be used. For methane, air and water vapor, approximation equations of true isobaric heat capacity from temperature in positive temperature ranges are presented in the form of polynomials, mainly of

the 8th and 9th degree, providing maximum accuracy of approximation. The obtained equations allow increasing the accuracy of engineering calculations, avoiding errors associated with the linear approximation of the nonlinear functional dependence of heat capacity on temperature.

Keywords: heat capacity; approximation; optimization; heat engineering; heat generating units.

REFERENCES

1. **Kitaev D. N., Ievleva E. V.** *Certificate of registration of the computer program. Program for calculating the dew point temperature of natural gas for water and the mass concentration of water vapor using a simplified method.* RU 2024664650, 21.06.2024. Application No. 2024663711 dated 17.06.2024. (in Russian)
2. **Kitaev D. N., Tuskaya S. G., Shchukina T. V.** *Approximation polynomials of the heat capacity of ideal gases: monograph.* Voronezh. Publishing house of VSTU. 2024. 130 p. (in Russian)
3. **Kitaev D. N.** *Dependence of the heat capacity of gas on temperature in modern engineering calculations.* High technologies in the construction complex. 2024. No 1. Pp. 166-170. (in Russian)
4. **Bazhinov A. V., Garbovitsky A. I., Krutskikh V. V., Nikulov A. S.** *Representation of the average molar heat capacity of combustion products of the internal combustion engine by linear dependencies on temperature and excess air coefficient.* Bulletin of the KhNADU. 2012. No. 56. Pp. 51-54. (in Russian)
5. **Bazhinov A. V., Garbovitsky A. I., Krutskikh V. V., Zyuban A. P.** *Representation of the dependencies of the average molar heat capacities of gases contained in the combustion products of the internal combustion engine on temperature by first-degree polynomials.* Bulletin of the KhNADU. 2012. No. 56. Pp. 55-60. (in Russian)
6. **Kolchin A. I., Demidov V. P.** *Calculation of automobile and tractor engines: a textbook for universities.* Moscow. Higher School. 2003. 220 p. (in Russian)
7. **Karyshev A. K., Zhinov A. A., Shevelev D. V.** *On the issue of calculating the thermophysical properties of natural gas and its combustion products.* Electronic journal: science, technology and education. 2015. No. 4(4). Pp. 29-37. (in Russian)
8. **Pylenok D. A., Naumov V. A.** *Change in the heat capacity of gaseous combustion products during a fire in a closed room.* Bulletin of youth science. 2017. No. 5(12). Pp. 20-25(in Russian)
9. **Gnitiev P. A.** *Study of heat exchange characteristics of combustion products during biogas combustion.* Bulletin of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture. 2017. No. 5(127). P. 67-71. (in Russian)
10. **Khvostov A. A., Zhuravlev A. A., Tselyuk D. I.** *Interpolation of the values of specific heat of nitrogen, oxygen and their mixtures in the two-phase liquid-vapor region.* Information technologies in construction, social and economic systems. 2018. No. 3(13). Pp. 21-27. (in Russian)
11. **Frolov S.M.** *Calculation of the working process in a diesel engine with an equation of state of real gas.* Combustion and Explosion. 2019. Vol. 12. No. 1. Pp. 73 - 83. (in Russian)
12. **Kuznetsov N. M., Frolov S. M.** *Heat capacity and enthalpy of saturated hydrocarbons (alkanes) in the ideal gas state.* Combustion and Explosion. 2020. Vol. 13. No. 2. Pp. 113-117. (in Russian)
13. **Sobolenko A. N.** *Calculation of the heat capacity of combustion products of gas motor fuel in diesel engines.* Vestn. Astrakhan. state tech. univ. Series: Marine engineering and technology. 2019. No. 2. Pp. 48-55. (in Russian)
14. **Sobolenko A. N., Florianskaya M. V.** *Calculation of the heat capacity of combustion products of compressed gas fuel grades "A" and "B" in diesel engines.* Bulletin of the Astrakhan

State Technical University. Series: Marine engineering and technology. 2021. No. 2. Pp. 65-74. (in Russian)

15. **Kitaev D. N., Kurnosov A. T., Cheremisin A. V, Gasanov Z. S.** *Use of digital technologies in thermal calculation of heat-generating plants.* Engineering systems and structures. 2020. Vol. 2. No. 1(39). Pp. 114-118. (in Russian)

Received 19 September 2024

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Китаев, Д. Н. Повышение точности расчета теплоемкости газов / Д. Н. Китаев, О. А. Куцыгина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 3(30). – С. 46-52. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.005.

FOR CITATION:

Kitaev D. N., Kutsygina O. A. *Improving the accuracy of gases heat capacity calculation.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 3(30). Pp. 46-52. DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.005. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.006

УДК 628.336.5

ОБРАБОТКА ОСАДКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД В МЕТАНТЕНКАХ

И. В. Журавлева, В. В. Помогаева, С. Ю.Ткачев

Журавлева Ирина Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел. +7(473)207-22-20; e-mail: izhuravleva@cchgeu.ru

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

Ткачев Станислав Юрьевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: stuvili@yandex.ru

Рассматривается вопрос о варианте применения метантенков в схеме обработки осадка сточных вод, с учетом количественного и качественного состава осадков. Основным методом является моделирование режима работы метантенков последовательно в термофильном и мезофильном режимах. Объектом исследования является двухсекционный метантенк. На примере станции очистки городских сточных вод, разработанной её схемы производительностью 28,2 тыс. м³ в сутки, и анализа загрязнений рассматриваются экологические проблемы утилизации осадка. Предложено для улучшения седиментационных способностей осадка в первичном отстойнике предусмотреть биокоагуляцию избыточным активным илом. Приведены основные параметры осадков первичных отстойников с учетом биокоагуляции. Определены основные параметры при совместной обработке первичного осадка и избыточного ила в метантенках с фазовой сепарацией. Рассчитаны основные показатели анаэробного стабилизатора в зависимости от количества образованных на станции осадков в первичных и вторичных отстойниках. Обосновано применение метантенка для обработки осадка в зависимости от эффекта работы блока механической очистки. Приведена схема конструкции разработанного метантенка, температурные диапазоны обработки осадка в нём. Показана схема работы метантенка с учётом интенсификации его работы. Описан принцип работы основного и вспомогательного оборудования метантенка. Даны рекомендации по улучшению схемы обработки осадка сточных вод для станций биологической очистки городских стоков. Рассмотрен метод обработки осадка, который позволит обезопасить образованный осадок и получить биогаз, сократить удельное сопротивление осадка фильтрации после метантенка. Предложен метод утилизации осадка из метантенка для получения почвогрунта.

Ключевые слова: метантенк; биогаз; осадки сточных вод; отстойник; разделение фаз.

Неотъемлемой частью комфортной и безопасной жизни является наличие системы водоснабжения и водоотведения. Сбор и очистка стоков являются сложной инженерной задачей. Проектирование и эксплуатация станций очистки сточных вод требует системного подхода к определению конструкций сооружений и разработке оборудования, используемого в процессах очистки стоков и утилизации осадков [1...4].

Одной из экологических проблем, охватывающих в разной мере практически все территории, является водоотведение. При обработке сточных вод образуется от 2 % до 10 % осадка от общего количества сточных вод, поступающих на очистное сооружение. По наибольшему удельному весу среди всех осадков выделяют избыточный активный ил и сырой осадок. По результатам исследований объем избыточного активного ила превышает объем влажного осадка в 1,5...2 раза [5]. Для обработки и утилизации осадка требуется до 70 % затрат от всей эксплуатации станции [2, 6].

На очистных сооружениях в России хранится более сотни миллионов тонн осадков [1]. Такое количество органических загрязнений создаёт ряд экологических проблем. Более сорока лет осадки после физико-химической и биологической очистки сточных вод направлялись на иловые площадки, для подсушивания и дальнейшей утилизации. В настоящее время, большинство иловых площадок переполнены [7], занимают значительные территории и постепенно выводятся из эксплуатации. Захоронение такого осадка приводит к увеличению площадей полигонов, отторжение и выведение земель из сельскохозяйственных и лесных фондов. Одним из актуальных способов утилизации осадка является его переработка с получением биогаза, почвогрунта [1, 6, 8...10].

В диссертационной работе И. В. Журавлевой [2] экономически доказана целесообразность применения метантенков для обработки первичного осадка при эффектах работы первичных отстойников выше 55 %. В этом случае на станции образуется больше первичного осадка, чем избыточного активного ила, что позволяет получить более качественный газ с высоким содержанием метана. А для исключения ингибирующего влияния активного ила (аэроба) на процессы сбраживания в метантенках, предложено установить внутри метантенка автоклав и производить из активного ила «питательный бульон» для анаэробных микроорганизмов. Такой приём исключает попадание кислорода с живым активным илом в метантенк. Поскольку «бульон» после автоклава имеет высокую температуру, то появляется возможность прогрева субстрата кислой фазы брожения до 55 °С, а это позволит повысить нагрузку на метантенк в этой фазе брожения. Однако это возможно только при отдельной обработке осадка и ила. Продвигаясь по ступенчатым секциям щелочного сбраживания температура будет уменьшаться, а вместе в ней будет повышаться влагоотделение из осадка. Если завершить обработку осадка в метантенке уплотнением и отвести влагу из осадка, то улучшатся влагоотдающие свойства сброженного осадка в сооружениях по его обезвоживанию.

В рассматриваемом ниже примере по утилизации осадка очистных сооружений, ситуация несколько иная, а именно: в данном проекте предлагается для улучшения седиментационных способностей осадка в первичном отстойнике предусмотреть биокоагуляцию избыточным активным илом.

В традиционных условиях сбраживания удельное сопротивление смеси осадка и избыточного активного ила фильтрации составляет $(910...1580) \cdot 10^{-10}$ см/г [3], а после уплотнения чаще всего удельное сопротивление субстратов повышается. Поэтому стремятся найти более эффективные способы извлечения жидкости из осадка и активного ила. Интересные результаты исследований по обработке осадков замораживанием и оттаиванием приведены у А. М. Благоразумовой [3, табл. 4.1]: после замораживания и оттаивания различные смеси осадка и ила в зависимости от исходной влажности и методов предварительной их обработки сокращают удельное сопротивление фильтрации от 2 до 110, а порой и более раз.

Для дегельминтизации осадков городских сточных вод одни авторы рекомендуют при их кондиционировании вносить различные флокулянты [3], другие – использовать биотермические методы обработки осадков [7], сбраживанием в термофильных условиях (53...55 °С), либо их прогревом до температуры не менее 60 °С и выдерживания не менее 20 мин. [4], мы же рекомендуем [9, 10] при коагулировании осадка использовать препарат на базе извести.

Производительность рассматриваемой в данной статье станции очистки сточных вод 28,2 тыс. м³/сут, что соответствует приведенному числу жителей 158341 человек. В схеме очистки воды приняты решётки, песколовки с круговым движением воды, первичные отстойники радиального типа, четырехкоридорные аэротенки, вторичные отстойники радиального типа, блок доочистки, блок обеззараживания. Для обработки осадка рекомендованы метантенки.

Переработка осадка в метантенках происходит при температуре от 33 до 55 °С при анаэробном брожении. В зависимости от температуры сбраживания осадка выделяются мезофильный режим – 30...35 °С и термофильный режим – 50...55 °С.

При работе метантенка выделяется около 60...70 % метана и 25...33 % углекислого газа, так же выделяется незначительное количество (до 2...5 %) азота и водорода, присутствуют следы сероводород [11]. Полученный биогаз можно применять для обогрева не только метантенка, но и использовать на хозяйственные нужды, как на территории станции очистки, так и в прилегающих районах, в зависимости от производительности сооружения.

Теплотворная способность биогаза составляет 20,9...25,1 кДж/кг, температура горения чистого метана 1300...1400 °С. Например, из 1000 м³ газа, полученного при работе метантенков, вырабатывается около 6500 кг пара, что заменяет 0,8 т условного топлива.

Наличие метантенков на станции очистки сточных вод позволяет полностью разложить содержащиеся органические вещества в осадке и выделить биогаз, для дальнейшего его использования [1...4].

Сточные воды перед первичными отстойниками имеют начальную концентрацию 263,02 мг/л. Влажность первичного осадка будет зависеть от установленного насосного оборудования, соблюдения технологического регламента удаления осадка и составляет при работе плунжерных насосов 93%, центробежных – 95...95,5 %, и при применении в первичных отстойниках биокоагуляции 96...96,5 %. Зольность смеси осадка и избыточного активного ила при применении в первичных отстойниках метода биокоагуляции составляет 0,27 %, удельный вес 1,03 т/сут.

Осадок вторичных отстойников (избыточный активный ил) имеет влажность 99,8 % и зольности 0,25 %, удельный вес 1,003 т/сут.

Наиболее простым является способ внесения избыточного ила в камеру перед первичными отстойниками. В этом случае смесь осадков из первичных отстойников будет иметь влажность 96 %.

Основные параметры осадков первичных отстойников с учетом биокоагуляции представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры осадков первичных отстойников с учетом биокоагуляции

Тип осадка	Задержано взвешенных веществ, мг/л	Расход сточных вод и избыточного ила, поступающий на первичные отстойники, Qсут, м ³ /сут	Удельный вес, т/сут	Зольность смеси, %	Влажность смеси, %	Сухое вещество, т/сут	Объем при фактической влажности, W м ³ /сут	Беззольное вещество, т/сут
смесь осадка и ила из первичного отстойника	163,02	29145,231	1,03	0,27	96	8,568	111,502	5,978

По расчетным значениям определены параметры метантенков и газгольдеров для сбора газа. Результаты расчета сведены в табл. 3.

Расчет метантанков был выполнен по традиционным методикам с учётом рекомендаций доз загрузки для метантенка с фазовой сепарацией. Основные расчётные параметры и результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры совместной обработки первичного осадка и избыточного ила
в метантенках с фазовой сепарацией
(1 фаза – термофильный режим, 2 фаза – мезофильный режим сбраживания)

Качество осадка	Доза загрузки Дмт, %	Общий объем метантенков, м ³	Степень распада беззольного вещества, %	Объем газа, м ³ /сут
Смесь сырого осадка и избыточного ила после биокоагуляции	12,5	652,00	42,19	2522,396

Таблица 3

Параметры метантенков и газгольдеров, принятых в проекте

Диаметр метантенка, м	Полезный объем метантенка, м ³	Количество метантенков, шт		Номер типового проекта газгольдера	Объем газгольдера, м ³	Объем газа, м ³ /сут	Количество газгольдеров, шт.	
		рабочих	рез.				раб.	рез.
10	500	2	1	7-07-02/66	300	472,95	2	1

Были приняты секционные метантенки с разделением на рабочие зоны (рис. 1). Для обработки осадка рекомендовано строительство трёх метантенков полезным объёмом 500 м³ и трёх газгольдеров объёмом 300 м³ каждый для приёма газа. Предложенный метантенк представляет собой герметичный резервуар, состоящий из трех камер, разделенных перегородками, которые делят объём метантенка на зоны работы: кислую, щелочную фазы и уплотнение стабилизированного осадка перед удалением на обезвоживание (рис. 1).

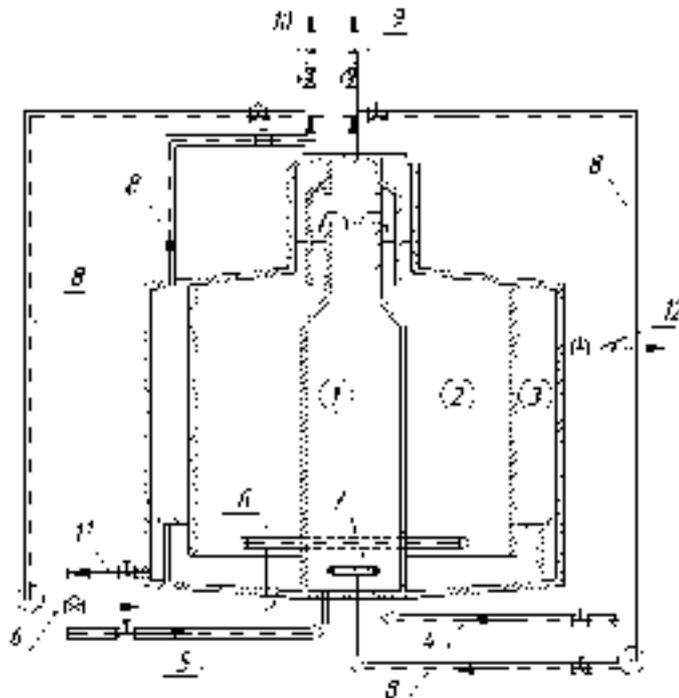


Рис. 1. Схема метантенка: 1, 2, 3 – камеры метантенка; 4 – подача исходного осадка; 5 – подача пара; 6, 7 – газораспределительные устройства; 8 – трубопроводы отвода газа; 9 – отвод газа кислого брожения; 10 – отвод газа метанового брожения; 11 – отвод уплотнённого сброженного осадка; 12 – отвод иловой воды

Внутри объёма щелочной фазы располагается ёмкость, предназначенная для кислой фазы сбраживания диаметром 2 м (20 м³).

Осадок поступает в центральную часть (поз. 1 рис. 1), где происходит кислое брожение. Далее осадок поступает в основную камеру (поз.2 рис. 1), где происходит метановое брожение. В периферийной камере (поз. 3 рис. 1) происходит уплотнение сброженного осадка. Подача осадка осуществляется напорным трубопроводом (поз. 4 рис. 1). Отвод осадка предусмотрен через трубопровод (поз. 11 рис. 1). Удаление иловой воды предусмотрено через трубопровод (поз. 12 рис. 1), расположенный в периферийной камере.

Для поддержания постоянной температуры через паропровод (поз. 5 рис. 1) подаётся пар в центральную часть метантенка. Перемешивание осадка в камерах метанового и кислого брожения предусмотрено посредством газораспределительных устройств (поз. 6, 7 рис. 1), при включении компрессоров.

В конструкции метантенка предусмотрен отвод биогаза из камеры кислого брожения через трубопровод (поз. 10 рис. 1) и биогаза из камеры метанового брожения через трубопровод (поз. 9 рис. 1). Полученный биогаз направляется к газгольдерам, для дальнейшего использования.

В метантенке предусмотрена многократная рециркуляция стабилизированного осадка и биогаза, при этом подача пара и осадка в центральную часть метантенка предусматривает стимулирование процесса сбраживания и обеспечивает наилучшие условия для развития микроорганизмов.

Время пребывания смеси осадков в кислой фазе составляет 10 часов. На этой стадии сложные органические соединения преобразуются в более простые растворенные вещества под действием факультативных анаэробов, которые выделяют экзоферменты из сложных органических соединений.

Стадия кислотообразования сопровождается выделением короткоцепочечных летучих жирных кислот (ЛЖК), аминокислот, спиртов, а также водорода и углекислого газа. Стадия осуществляется быстрорастущими, гетерогенными бактериями, устойчивыми к неблагоприятным условиям среды. Далее ЛЖК, аминокислоты и спирты преобразуются в уксусную кислоту, диссоциирующую на анион ацетата и катион водорода [3].

Так как стадия кислого сбраживания протекает быстро, по сравнению со следующей – щелочной фазой, то было принято решение о целесообразности проведения ее в термофильных условиях, которые позволяют уничтожить патогенную микрофлору, населяющую осадки сточных вод. Если бы после термофильного режима подавать осадок на обезвоживание, то возникли бы проблемы с водоотдачей, т.к. этот температурный режим сопровождается увеличением удельного сопротивления осадка фильтрации. Зоны термофильного и мезофильного режимов показаны на рис.2.

Осадок (поз. 4 рис. 2) под напором подается в зону термофильного сбраживания (поз. 1 рис. 2). Сбраживание происходит при температуре 55 °С. Для исключения остывания осадка, через паропровод подается пар (поз. 5 рис. 2). Для предотвращения уплотнения и оседания осадка, в зону термофильного сбраживания, по напором подается ранее полученный газ, через трубопровод (поз. 8 рис. 2) и газораспределительное устройство (поз. 7 рис. 2). Отвод биогаза выполняется через трубопровод (поз. 9 рис. 2). Часть газа поступает в газгольдеры, часть возвращается в зону термофильного сбраживания.

После сбраживания в термофильной зоне, осадок поступает в зону мезофильного сбраживания (поз. 2 рис. 2). В этой зоне температура поддерживается в диапазоне 32 °С. Частично используется остаточное тепло в осадке, частично нагревание происходит от перегородок метантенка термофильной зоны. Для предотвращения уплотнения и раннего оседания осадка, в зону мезофильного сбраживания, по напором подается ранее полученный газ, через трубопровод (поз. 8 рис. 2) и газораспределительное устройство (поз. 6 рис. 2). Отвод биогаза выполняется через трубопровод (поз. 10 рис. 2). Часть газа поступает в газгольдеры, часть возвращается в зону мезофильного сбраживания.

После сбраживания в мезофильной зоне, осадок поступает в зону уплотнения осадка (поз. 3 рис. 2), далее отводится трубопроводом (поз. 11 рис. 2), для дальнейшего обезвоживания.

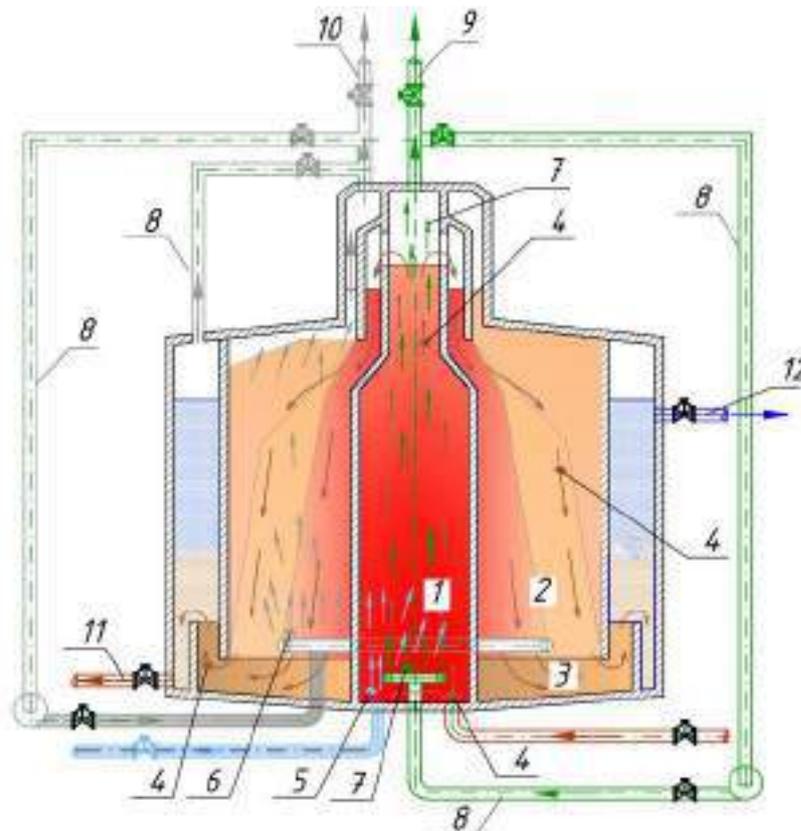


Рис. 2. Схема распределения зон сбраживания и температур в метантенке:
 1 – зона термофильного сбраживания – 55 °С; 2– зона мезофильного сбраживания – 32 °С;
 3– зона уплотнения осадка; 4 – схема движения осадка; 5 – схема подачи пара;
 6 – движение газа в зоне кислого сбраживания; 7 – движение газа в зоне щелочного сбраживания;
 8 – трубопроводы отвода газа; 9 – отвод газа кислого брожения; 10 – отвод газа метанового брожения;
 11 – отвод уплотнённого осадка; 12 – отвод иловой воды

Выделавшаяся иловая вода отводится трубопроводом (поз. 12 рис. 2) в резервуар-усреднитель очистных сооружений.

Применение отдельных режимов сбраживания имеет ряд преимуществ и недостатков. Термофильный режим (поз. 1 рис. 2) имеет следующие преимущества [3]:

- ✓ санитарные, так как происходит дегельминтизация осадков;
- ✓ строительные, так как вследствие того, что дозы загрузки в метантенк почти в два раза выше, чем при мезофильном режиме, сокращается объем сооружений.

Однако существуют у термофильного режима и недостатки [3]:

- ✓ ухудшение водоотдающих свойств осадков за счет увеличения удельного сопротивления фильтрации;
- ✓ увеличенный расход тепла, необходимый для подогрева метантенков.

Поскольку принят метантенк с фазовой сепарацией, то вторую стадию целесообразно проводить с уменьшением температуры до 33 °С. В этом случае образование метана из уксусной кислоты, а также реакции восстановления водородом углекислого газа, будет осуществляться в присутствии медленно растущих бактерий, являющихся «строгими анаэробами». Такие бактерии чрезвычайно чувствительны к изменению условий среды: температуры и рН. Снижение рН менее 7,0...7,5 и резкое изменение температуры приводит к

ухудшению процесса выделения метана. При дополнительной секции уплотнения минимизируются теплопотери, т.к. тепло через стенки метановой фазы передаётся осадку.

Мезофильный режим (поз. 2 рис. 2) имеет свои преимущества:

- ✓ осадок подсыхает в полтора раза быстрее из-за более низкого удельного сопротивления его фильтрации;
- ✓ требуется меньший расход тепла на подогрев осадков.

Недостатком мезофильного режима является более низкий эффект дегельминтизации. Поскольку этап дегельминтизации совпадает с предыдущим этапом сбраживания, в рассматриваемом примере этого недостатка в конструкции нет.

В процессе анаэробного сбраживания участвуют пять групп бактерий [14]:

- ✓ ферментативные кислотогены;
- ✓ ацетогены, образующие H_2 ;
- ✓ ацетогены, использующие H_2 ;
- ✓ метаногены, восстанавливающие CO_2 ;
- ✓ метаногены, использующие ацетат.

Для максимальной эффективности работы метантенков, необходимо обеспечивать последовательность процессов сбраживания. Последующие этапы могут начаться только после того, как в ходе предыдущего процесса были созданы для них оптимальные условия.

Процесс брожения требует оптимального температурного режима, даже кратковременное снижение температуры приводит к торможению стадий метаногенеза, накоплению кислот за счёт активной работы более устойчивых гидролитических организмов, нарушению трофических связей и в целом процесса.

При сбраживании в предложенном метантенке распад органических веществ составляет при надлежащей эксплуатации, 42,19 % (см. табл. 2), поэтому уменьшается количество сухого вещества осадка и повысится его влажность на 1,5...5 %, т.к. процессы распада сопровождаются выделением воды. Для отвода иловой воды отдельно от осадка предусмотрена зона его уплотнения. Такой приём позволяет сократить последующие сооружения и уменьшить удельное сопротивление осадка фильтрации.

В метантенках законченность процесса сбраживания характеризуется составом газа и химическим анализом иловой воды.

Прогноз состава газа следующий [3]:

- ✓ метан – 60...70 %;
- ✓ двуокись углерода – 16...34 %;
- ✓ азот – 0,3 %;
- ✓ водород – 0,3 %;
- ✓ кислород – 0,4 %;
- ✓ окись углерода – 2...4 %.

В процессе эксплуатации следует выполнять химические анализы иловой воды на проверку соответствия следующим основным показателям: рН > 7,0; щелочность – 65...90 мгэкв/л; азот аммонийных солей – 400...800 мг/л; летучие жирные кислоты – 5...10 мгэкв/л.

Для дальнейшей утилизации осадка из метантенка предложен метод обезвоживания на декантерной установке с добавлением извести, не превышающей 2 % по массе.

Полученный осадок по составу представляет собой почвогрунт, который можно использовать в промышленном цветоводстве, лесных и декоративных питомниках, для биологической рекультивации нарушенных земель и полигонов ТБО [1, 9, 10]. Внесение такого осадка повышает плодородие почвы, за счет увеличения содержания в почве азота, фосфора и калия, приводит к повышению урожайности озимого рапса на 20,1 %.

Применение осадка в качестве органических удобрений не оказывает влияние на качество выращиваемых растений. Все показатели находятся в пределах предельно допустимых концентраций (ПДК) или значительно ниже [1, 9, 10].

Заключение.

Рассмотрен комплексный подход к станции очистки сточных вод, предложен метод обработки осадка, который позволит обезопасить образованный осадок, получить биогаз и использовать его на собственные нужды станции, снизить время и энергозатраты на обработку осадка.

Основные особенности рассматриваемого метода очистки:

- ✓ биокоагуляция в первичных отстойниках избыточным активным илом делает возможным вывод из традиционной схемы уплотнителей;
- ✓ разделение фаз брожения и выбранные температурные режимы позволяют достичь оптимальных режимов, при надлежащей эксплуатации метантенков, получить существенный экономический эффект;
- ✓ подбор температурного режима кислой и щелочной фаз анаэробного сбраживания и ввод конструктивного элемента – уплотнителя в конструкцию применяемого метантенка, обеспечивает наилучшие условия дегельминтизации, сбраживания и отдачи жидкости сброженной смесью;
- ✓ снижение теплопотерь в окружающую среду за счет повторного использования тепла при нагреве осадка.

Повышение производительности метантенка стимулированием в нём процесса сбраживания и обеспечения наилучших условий для жизнедеятельности микроорганизмов позволяет увеличить нагрузку на существующие метантенки на 20...30 %.

Применение извести на конечной стадии обработки стабилизированного осадка придаёт ему новые свойства самостоятельного продукта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Журавлева, И. В.** Комплексный подход к эксплуатации и реконструкции станций очистки сточных вод / И. В. Журавлева // Яковлевские чтения: сборник докладов XI научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН Сергея Васильевича Яковлева. – Москва: Издательство АСВ, 2016. – С. 150-154.
2. **Журавлева, И. В.** Совершенствование конструкций и интенсификация работы сооружений стабилизации осадков сточных вод: автореф. на соиск. уч. степени канд. техн. наук / И. В. Журавлева: 05.23.04 – водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. – Воронеж, 1997. – 17 с.
3. **Благоразумова, А. М.** Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод: учеб. пособие, - 2-е изд., испр. и доп. / А. М. Благоразумова. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2014. – 208 с.
4. **Исаева, А. М.** Обработка и утилизация осадков сточных вод: учебное пособие, 2-е изд., перераб. и доп. / А. М. Исаева.– Пенза: ПГУАС, 2013 – 128 с.
5. **Таскаев, М. В.** Анализ конструкций метантенков для обработки осадка с очистных сооружений / М. В. Таскаев, Л. А. Гарифьянова, М. В. Свалова // Интеллектуальные системы в производстве. – 2022. – Т. 20. – № 1. – С. 96-105. – DOI 10.22213/2410-9304-2022-1-96-105.
6. Экономическая эффективность очистных сооружений канализации с применением метантенков / Я. М. Клявлиня, М. С. Клявлин, С. М. Опойкова [и др.] // Евразийский юридический журнал. – 2023. – № 1(176). – С. 408-410.

7. **Москвичева, А. В.** Канализационные очистные сооружения. Механическая очистка / А. В. Москвичева, Ю. Ю. Юрьев, А. А. Герашенко. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2018. – 85 с.
8. **Shcherbakov, V. I.** Biomass Resource of Domestic Sewage Sludge / V. I. Shcherbakov, V. V. Pomogaeva, K. Chizhik, E. Koroleva // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018: Series: Advances in Intelligent Systems and Computing Volume 983, Voronezh and Samara, Russia, Vol. 2. – Cham: Springer, 2019. – Pp. 361-372. – DOI 10.1007/978-3-030-19868-8_37.
9. **Shcherbakov, V.** Improving the efficiency of anaerobic disposal of organic waste / V. Shcherbakov, V. Pomogaeva, T. Shukina [et al.] // E3S Web of Conferences. – Moscow, 2021. – Pp. 01014. – DOI 10.1051/e3sconf/202126301014.
10. **Shcherbakov, V. I.** The study of the use of "dezolak" for disinfection and deodorization of sewage sludge / V. I. Shcherbakov, K. I. Chizhik, V. V. Pomogaeva, O. Y. Tararykov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 3, New Technologies and Targeted Development Priorities. – Irkutsk, 2020. – Pp. 012053. – DOI 10.1088/1757-899X/880/1/012053.
11. Биогазовая установка с активной системой перемещения сбраживаемой массы / С. П. Игнатъев, Н. Ю. Касаткина, А. А. Литвинюк [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 180. – С. 61-71. – DOI 10.21515/1990-4665-180-007.
12. Теоретические исследования процесса образования биогаза в метантенке с биофильтром / Ю. Ц. Бадмаев, А. С. Дроздов, Д. Г. Дугаров, М. И. Гильдибрант // Вестник ВСГУТУ. – 2024. – № 2(93). – С. 75-81. – DOI 10.53980/24131997_2024_2_75.
13. **Игнатъев, С. П.** совершенствование конструкции многосекционного метантенка / С. П. Игнатъев // От импортозамещения к инновационному агропромышленному комплексу и устойчивому сельскому хозяйству России: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию Удмуртского ГАУ. – Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет, 2023. – С. 136-142.
14. Исследование активного ила из метантенка очистных сооружений / Ю. С. Медведева, А. А. Образцова, Р. А. Смит [и др.] // Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах: Тезисы докладов IV Международной научной конференции, – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2023. – С. 103-104.

Поступила в редакцию 17 сентября 2024

TREATMENT OF URBAN WASTEWATER SLUDGE IN METHANE TANKS

I. V. Zhuravleva, V. V. Pomogaeva, S. Y. Tkachev

Irina Vladimirovna Zhuravleva, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor at the Department of Hydraulics, Water Supply and Sewerage at Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: izhuravleva@cchgeu.ru

Valentina Vasilyevna Pomogaeva, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor at the Department of Hydraulics, Water Supply and Sewerage, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)207-22-20; e-mail: vpomogaeva@cchgeu.ru

Stanislav Yurievich Tkachev, graduate student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473) 207-22-20; e-mail: stuvili@yandex.ru

The article considers the issue of the use of methane tanks in the wastewater sludge treatment scheme, taking into account the quantitative and qualitative composition of sludge. The main method is to simulate the mode of operation of methane tanks sequentially in

thermophilic and mesophilic modes. The object of the study is a two-section methane tank. We consider the environmental problems of sludge disposal, using the example of an urban wastewater treatment plant, its developed scheme with a capacity of 28.2 thousand m³ per day, and pollution analysis. It is proposed to provide biocoagulation with excess activated sludge to improve sedimentation abilities of sludge in the primary settling tank. We describe the main parameters of sludge of primary sedimentation tanks, taking into account biocoagulation. We determined the main parameters for the joint treatment of primary sludge and excess sludge in methane tanks with phase separation. We calculated the main indicators of the anaerobic stabilizer depending on the amount of sludge formed at the station in primary and secondary sedimentation tanks. The use of a methane tank for sludge treatment is justified, depending on the effect of the mechanical cleaning unit. We as well present the design scheme of the developed methane tank and the temperature ranges of sludge treatment in it. Also, we show the scheme of the work of the methane tank, taking into account the intensification of its work. We also describe the principle of operation of the main and auxiliary equipment of the methane tank. We as well recommend how to improve the sewage sludge treatment scheme for biological treatment plants of urban wastewater. We consider a sludge treatment method, which will allow us to secure the formed sediment and to obtain biogas, reducing the specific resistance of the filtration sludge after the methane tank. We propose a method of recycling sludge from a methane tank to obtain soil.

Keywords: methane tank; biogas; sewage sludge; sedimentation tank; phase separation.

REFERENCES

1. **Zhuravleva I. V.** *An integrated approach to the operation and reconstruction of wastewater treatment plants*. Yakovlev readings: a collection of reports of the XI scientific and technical conference dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences Sergey Vasilyevich Yakovlev. Moscow, DIA Publishing House. 2016. Pp. 150-154. (in Russian)
2. **Zhuravleva I. V.** *Improvement of structures and intensification of work of wastewater sludge stabilization facilities*: abstract. for the degree of Candidate of Technical Sciences. Voronezh. 1997. 17 p. (in Russian)
3. **Blagorazumova A. M.** *Treatment and dewatering of urban wastewater sediments*: Textbook. 2nd ed., improved and added. St. Petersburg, Lan Publishing House. 2014. 208 p. (in Russian)
4. **Isaeva A. M.** *Treatment and utilization of sewage sludge*. Textbook. Penza. PGUAS. 2013. 128 p. (in Russian)
5. **Taskaev M. V., Garifyanova L. A., Svalova M. V.** *Analysis of structures of methane tanks for sludge treatment from sewage treatment plants*. Intelligent systems in production. 2022. Vol. 20. No. 1. Pp. 96-105. DOI 10.22213/2410-9304-2022-1-96-105. (in Russian)
6. **Klyavlina Ya. M., Klyavlin M. S., Opoikova S. M.** *Economic efficiency of sewage treatment plants using methane tanks*. Eurasian Legal Journal. 2023. № 1(176). Pp. 408-410. (in Russian)
7. **Moskvicheva A. V., Yuryev Yu. Yu., Gerashchenko A. A.** *Sewage treatment plants. Mechanical cleaning*. Volgograd: Volgograd State Technical University. 2018. 85 p. (in Russian)
8. **Sherbakov V. I., Pomogaeva V. V., Chizhik K. I., Koroleva E.** *Resource of Domestic Drainage Sludge*. International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. Series: Advances in Intelligent Systems and Computing Volume 983. Voronezh and Samara. Russia. Vol. 2. Cham: Springer. 2019. Pp. 361-372. DOI 10.1007/978-3-030-19868-8_37.

9. **Sherbakov V. I., Pomogaeva V. V., Shukina T. V.** *Improving the efficiency of anaerobic disposal of organic waste.* E3S Web of Conferences. Moscow. 2021. Pp. 01014. DOI 10.1051/e3sconf/202126301014.
10. **Sherbakov V. I., Chizhik K. I., Pomogaeva V. V., Tararykov O. Y.** *The study of the use of "dezolak" for disinfection and deodorization of sewage sludge.* IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 3, New Technologies and Targeted Development Priorities. Irkutsk. 2020. Pp. 012053. DOI 10.1088/1757-899X/880/1/012053.
11. **Ignatiev S. P., Kasatkina N. Y., Litvinyuk A. A.** *Biogas plant with an active system for moving the fermented mass.* Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2022. No. 180. Pp. 61-71. DOI 10.21515/1990-4665-180-007. (in Russian)
12. **Badmaev Yu. Ts., Drozdov A. S., Dugarov D. G., Gildibrant M. I.** *Theoretical studies of the process of biogas formation in a methane tank with a biofilter.* Bulletin of VSGUT. 2024. No. 2(93). Pp. 75-81. DOI 10.53980/24131997_2024_2_75. (in Russian)
13. **Ignatiev S. P.** *Improving the design of a multi-sectional metal tank.* From import substitution to innovative agro-industrial complex and sustainable agriculture in Russia: Materials of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the Udmurt State Agrarian University. 2023. Pp. 136-142. (in Russian)
14. **Medvedeva Yu. S., Obratsova A. A., Smith R. A.** *Of activated sludge from the methane tank of sewage treatment plants.* Innovative directions for the development of science on polymer fibrous and composite materials. 2023. Pp. 103-104. (in Russian)

Received 17 September 2024

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Журавлева, И. В. Обработка осадка городских сточных вод в метантенках / И. В. Журавлева, В. В. Помогаева, С. Ю. Ткачев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 3(30). – С. 53-63. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.006.

FOR CITATION:

Zhuravleva I. V., Pomogaeva V. V., Tkachev S. Y. *Treatment of urban wastewater sludge in methane tanks.* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 3(30). Pp. 53-63. DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.006. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.007

УДК 628.166

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО БИОЦИДА ДЛЯ ВОДЫ БАССЕЙНОВ

Д. О. Половнева, М. И. Василенко

Половнева Дария Олеговна, аспирант, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация, +7(960)622-02-38; e-mail: dasha1021998@mail.ru

Василенко Марина Ивановна, канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация, +7(915)566-77-48; e-mail: vasilemn@mail.ru

В последнее время в качестве альтернативного решения для обработки воды бассейнов всё чаще предлагают экологически чистые и безопасные обеззараживающие препараты – полимерные ионогенные биоциды на основе синтетических высокомолекулярных полигуанидинов. К таким веществам относится полигексаметиленгуанидин гидрохлорид (ПГМГ-ГХ), который обладает широким спектром пролонгированного биоцидного действия в интервале температур воды 0...30 °С и pH 6...9. В работе приведены результаты исследований по выявлению альгицидных, фунгицидных, бактерицидных свойств биоцидного многофункционального средства (БМС) на основе производных гуанидина в интервале температур 20...45 °С с целью возможного его использования для воды открытых бассейнов, особенно в условиях южных стран. Экспериментально доказана высокая биоцидность концентрированного препарата по отношению к одноклеточным водорослям, вызывающим «цветение воды», энтеробактериям, часто обнаруживаемым в водах бассейнов, и микроскопическим грибам, заселяющим поверхности в условиях повышенных температур и влажности.

Ключевые слова: вода бассейнов; температура среды; обеззараживание; биоцид; бактерицидность; фунгицидность; альгицидность.

Для создания безопасных условий купания в бассейне как открытого, так и закрытого типа необходимо проводить мероприятия по обеззараживанию воды. Без специальной обработки такая вода со временем станет идеальной средой для роста патогенной микрофлоры, водорослей и плесневых грибов [1...4]. Поэтому обеспечение эффективного и безопасного для людей обеззараживания воды в бассейнах является серьезной проблемой [5, 6].

Основные биоцидные средства, применяемые для обработки воды в бассейне, из-за содержания свободного хлора (хлора и гипохлорита натрия) являются опасными для человека и в воде могут образовывать токсичные продукты, которые вызывают раздражение кожи и глаз. Кроме того, в жарких странах хлорсодержащие препараты в качестве обеззараживающих средств вынуждены добавлять в воду часто и в больших количествах по причине интенсивного воздействия солнечного света и высоких температур.

При выборе дезинфицирующего средства для воды бассейнов следует учитывать следующие требования [7...9]:

- ✓ средства должны обладать высокой эффективностью воздействия на микробиологические загрязнения (биоцидность);
- ✓ быть экологичными: безопасными для человека и окружающей среды, особенно при сбросе вод в открытые водоемы;
- ✓ обеспечивать пролонгированный дезинфицирующий эффект;
- ✓ быть недорогими.

Способы обеззараживания воды бассейнов могут быть:

✓ реагентные, которые предполагают добавление в воду специальных веществ – реагентов: хлора, брома, озона, серебра, меди и др.;

✓ безреагентные – включает обработку воды бактерицидными лучами (кварцевание), ультрафиолетовым излучением с дозой облучения не менее 16 мДж/см², ультразвуком и др.;

✓ комбинированные – применяют для повышения эффективности процесса обеззараживания: так, часто, безреагентный метод обработки воды ультрафиолетом совмещают с хлорированием, имеющим высокую продолжительность дезинфицирующего эффекта.

Для дезинфекции воды бассейнов при использовании реагентных методов применяют различные химические вещества – биоциды, которые относятся к биологически активным веществам (БАВ). Наиболее эффективными из них являются окислители, в большей степени хлор и гипохлорит натрия, в значительно меньшей степени озон и диоксид хлора [10...12].

Но такие дезинфицирующие средства сами по себе являются опасными для человека и в воде могут образовывать токсичные продукты, вызывающие раздражение кожи и глаз [13].

При использовании свободного хлора для поддержания чистоты воды бассейнов его концентрация должна находиться в пределах определенных значений (0,3...0,5 мг/дм³). Проблема применения свободного хлора в южных странах заключается в высоком его расходе в условиях воздействия солнечного света и высоких температур. Установлено, [14], что солнечные лучи могут снизить содержание хлора на 90 % за 2 часа.

В настоящее время для воды бассейнов разрабатывают новые комплексные биоцидные препараты с использованием в качестве активного вещества синтетические высокомолекулярные соединения – полигуанидины [11, 15]. В первую очередь, к таким веществам относится полигексаметиленгуанидин гидрохлорид (ПГМГ-ГХ), обладающий широким спектром пролонгированного биоцидного действия в интервале температур воды 0...30 °С и рН 6...9. Новые комплексные биоцидные средства на основе указанного действующего вещества представляют собой растворы без вкуса и запаха, являются малотоксичными (IV класс опасности в соответствии с нормативным документом (ГОСТ 12.1.007)) и не оказывают негативного воздействия на здоровье человека [15].

Основным критерием использования таких новых биоцидных средств для обеззараживания воды бассейнов является эффективность их действия, обусловленная химическим составом, концентрацией препарата в воде, температурой и рН водной среды.

С точки зрения экономической целесообразности для дезинфекции воды бассейнов производители стараются достичь обеззараживающего эффекта при применении минимальной концентрации средства, так как в условиях высокой концентрации могут начаться процессы коррозии металлических поверхностей технологического оборудования или могут выделяться вещества, опасные для здоровья человека. А при низком содержании в воде препарата размножение микроорганизмов не останавливается совсем, а только замедляется [16], поэтому требуется определение оптимальных концентраций эффективного воздействия с учетом экономически обоснованного использования.

Согласно проведенным исследованиям [17] бактерицидный эффект обеззараживающих средств усиливается при повышении температуры воды. При понижении значений этого параметра электролитическая диссоциация (распад вещества в растворе) замедляется, что тормозит проникновение химического вещества в микробную клетку, а при температуре 0 °С многие биоцидные препараты теряют свои свойства. С увеличением температуры на 10 °С (в интервале температур от 22 до 32 °С) скорость химических реакций возрастает в 2...3 раза, пропорционально усиливая биоцидное действие дезинфицирующего средства [16, 17]. Информации о воздействии более высоких температур (например, 35...50 °С и более) на эффективность биоцидных препаратов в литературе не найдено.

Объектом представленных исследований было биоцидное многофункциональное средство (БМС) на основе полигексаметиленгуанидин гидрохлорида с разным содержанием активного вещества.

Оценка биоцидного действия нового комплексного средства заключалась в исследовании влияния таких параметров, как температура и концентрация активного вещества на эффективность биоцида. Альгицидность, фунгицидность и бактерицидность растворов БМС (в концентрациях 2 % и 4 %) выявлялась при использовании в качестве тест-объектов зеленой одноклеточной водоросли рода *Chlorella*. (хлорелла) в соответствии с ПНД Ф Т 14.1:2:4.10-2004, а также микроскопических грибов рода *Aspergillus* (аспергиллы) и бактериальной кишечной палочки *Escherichia coli* методом бумажных дисков [17, 18].

Перед тестированием растворы биоцидного препарата выдерживали при температуре 35 °С и 45 °С в течение 16 часов, в качестве контроля использовали раствор той же концентрацией комнатной температуры (22 °С). Контрольной средой являлась отстоянная водопроводная вода.

Биотестирование средств с использованием хлореллы проводили в условиях лаборатории ($t = 22...23$ °С) с разной продолжительностью: 1 ч, 2 ч, 3 ч, 5 ч, 22 ч, используя установку для культивирования хлореллы серии КВ, состоящую из культиватора КВ-05, многоцветного культиватора КВМ-05 и измерителя оптической плотности ИПС-03. Долю погибших клеток в % определяли по формуле (1).

$$A = \frac{D_{\text{исх.}} - D_{\text{кон.}}}{D_{\text{исх.}}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где A – доля погибших клеток водорослей, %; $D_{\text{исх.}}$, $D_{\text{кон.}}$ – начальная и конечная оптическая плотность суспензий с хлореллой и активным веществом БМС.

Результаты исследования влияния высоких температур на альгицидность исследуемого БМС представлены в табл. 1.

Таблица 1

Динамика смертности водорослей (% погибших)

Концентрация биоцида	Длительность процедуры, час				
	1	2	3	5	22
Температура выдерживания раствора 35 °С					
2 %	0	6,7	10,4	14,1	71,1
4 %	0	11,3	28	41,1	83,3
Температура выдерживания раствора 45 °С					
2 %	0	5,8	10,1	13,2	68,1
4 %	0	9,6	29	42,9	82,5
Температура выдерживания раствора 23 °С					
2 %	0	4,5	9,9	12,8	70,4
4 %	0	9,8	27,5	41,9	82,8

На основании результатов проведенных исследований, как видно из данных таблицы, можно сделать вывод, что более высокая концентрация биоцида (4 %) приводила к интенсификации процесса гибели водорослей с первых часов. Показатель смертности к завершению процедуры тестирования составил 82,5...83,3 %, тогда как в варианте с меньшей концентрацией (2 %) – 68,1...71,1 %. Эти показатели практически не отличались от результатов экспериментов с растворами биоцида, не подвергавшимися воздействию указанных температур, то есть повышение температуры от 23 °С до 45 °С не снижало активности воздействия средства на водоросли. Гибели клеток в воде без биоцида (контроль) не наблюдалось (смертность 0 %).

Результаты по исследованию влияния более низких концентраций растворов БМС на эффективность воздействия на клетки водоросли *Chlorella* представлены в табл. 2. В эксперименте использовали растворы препарата с содержанием активного вещества 0,5 %,

0,8 %, 1,0 %, 1,5 %. Альгицидность оценивали по показателю мутности суспензии, коррелирующему с концентрацией живых клеток в среде.

Таблица 2

Доля погибших клеток хлореллы в растворах препарата с различной концентрацией активного вещества

Концентрация активного вещества	Доля погибших клеток, %
0,50%	60,7
0,80%	64,3
1%	67,6
1,50%	69,8
0% (контроль)	0

Согласно данным табл. 2, в условиях более низких концентраций биоцида (вплоть до 0,50 %) эффективность его воздействия сохраняется. Во всех вариантах используемых концентраций доля погибших клеток превышала 50 %, а значит препарат токсичен по отношению к одноклеточным водорослям и может быть использован для предотвращения «цветения» воды.

При оценке фунгицидности и бактерицидности средства культуры микроскопических грибов и бактерии высевали в чашки Петри на твердые питательные среды Чапека и МПА, соответственно, после чего на поверхность среды помещали бумажные диски, смоченные в растворах биоцида определенной концентрации. Культивировали микроорганизмы в условиях комнатной температуры (21 °С) и в термостате при температурах 32 °С и 45 °С, в течение 7 суток (грибы) и в течение 2 суток (бактерии). Контролем служили диски, смоченные водопроводной водой (К).

Фунгицидность и бактерицидность оценивали по характеру роста культуры гриба и бактерии в присутствии дисков, смоченных раствором биоцида в концентрациях 2 % и 4 % (модельная вода).

Как показала визуальная оценка состояния содержимого чашек к концу эксперимента отмечен незначительный рост гриба независимо от температурного воздействия на растворы биоцида (рис. 1...3).

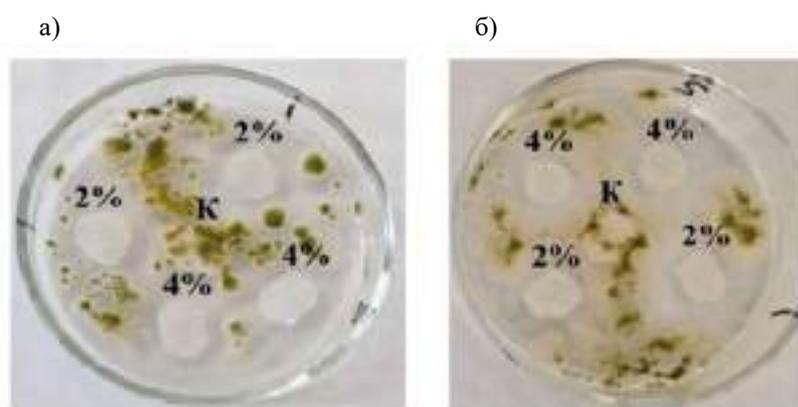


Рис. 1. Рост гриба в присутствии биоцида при температуре 21 °С:
 а – диски смочены растворами биоцида, выдержанного при температуре 32 °С;
 б – диски смочены растворами биоцида, выдержанного при температуре 45 °С

На фотографиях (рис. 1) хорошо видно, что плесневой грибок растет на поверхности контрольного диска (К) в центре, тогда как вокруг дисков, смоченных водой с биоцидом четко просматриваются «чистые зоны» – зоны фунгицидности, где отсутствует рост микроорганизма. Это свидетельствует о том, что растворы обладают фунгицидной активностью, а значит, могут предотвратить развитие гриба не только в воде, но и на поверхности

отделочных материалов.

Более заметен эффект негативного воздействия препарата на микроорганизм в условиях культивирования при 32 °С (рис. 2), более ярко выраженный для растворов большей концентрации (4 %). Контрольные образцы практически полностью заросли грибом.

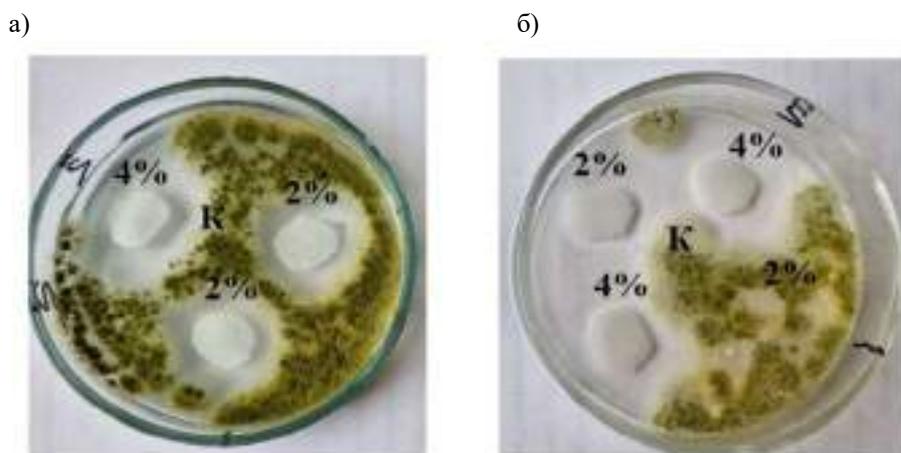


Рис. 2. Рост гриба в присутствии биоцида при температуре культивирования 32°С:
а – диски смочены модельной водой, выдержанной при 32 °С;
б – диски смочены модельной водой, выдержанной при температуре 45 °С

В условиях температуры 45 °С используемые плесневые грибы росли хуже, поскольку имело место дополнительное негативное температурное воздействие (рис. 3).

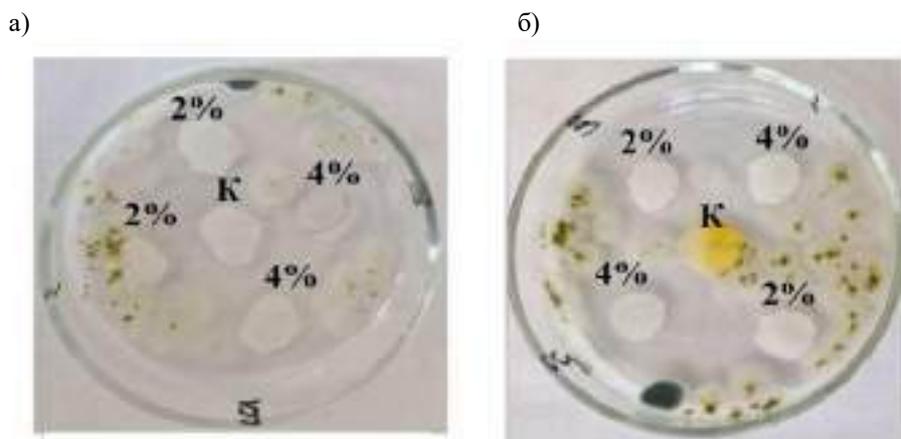


Рис. 3. Рост гриба в присутствии биоцида при температуре культивирования 45°С:
а – диски смочены в растворе биоцида с температурой 32 °С;
б – диски смочены модельной водой, выдержанной при температуре 45 °С

Результаты проведения оценки влияния раствора биоцида на развитие бактериальной культуры *E. coli* методом дисков представлены на рис. 4.

Как видно на рис. 4 вокруг дисков, смоченных раствором биоцида отмечаются зоны подавления роста бактерий как в случае использования растворов, выдержанных при температуре 32 °С, так и в варианте выдерживания растворов при 45 °С. Контрольный образец (диск, смоченный в чистой водопроводной воде) окружен областью интенсивного роста бактерий.

Снижение рабочей концентрации биоцида до 0,5 % (по содержанию активного вещества) свидетельствовало о сохранении эффективности воздействия препарата на бактериальные клетки и микроскопические грибы (рис. 5).

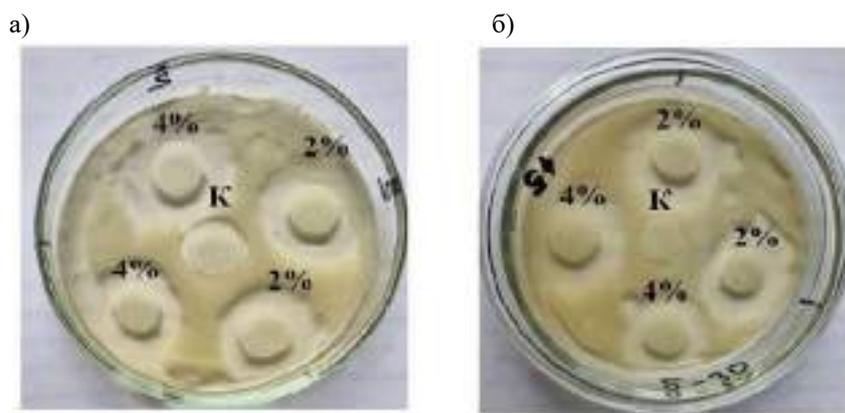


Рис. 4. Рост бактерий в присутствии биоцида при температуре культивирования 32 °С:
 а – диски смочены модельной водой с температурой 32 °С;
 б – диски смочены модельной водой, выдержанной при температуре 45 °С

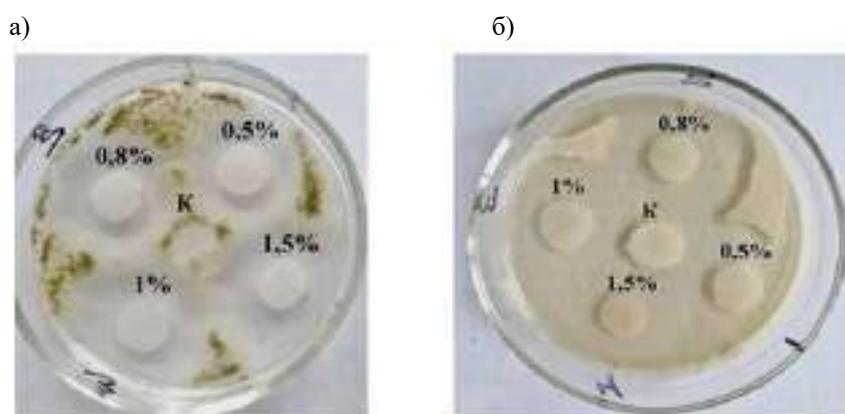


Рис. 5. Рост культуры грибов и бактерий на твердой питательной среде в присутствии биоцида:
 а – микроскопический гриб, б – бактерии (*E. coli*)

Отмечен рост гриба в условиях культивирования при $t = 32\text{ °С}$ вокруг (частично на поверхности) контрольного диска, тогда как вокруг дисков, смоченных растворами биоцида четко просматриваются «чистые зоны» – зоны фунгицидности, где отсутствует рост микроорганизма. Увеличение концентрации биоцида в три раза (от 0,5 % до 1,5 %) привело к незначительному (в 1,2 раза) возрастанию размеров этих зон (рис. 5, а).

При исследовании влияния заданных концентраций БСМ на его бактерицидность (рис. 5, б) вокруг дисков в условиях культивирования при 32 °С, смоченных раствором биоцида отмечаются зоны подавления роста бактерий при использовании растворов биоцида в интервале концентрации 0,5 %...1,5 %.

Кумулятивный эффект воздействия помещенных на поверхность дисков с биоцидами определил незначительный рост бактерий на локальных участках. Контрольный образец окружен узкой областью роста бактерий, хорошо заметной невооруженным глазом.

Заключение.

Результаты проведенных исследований позволяют заключить, что испытуемый препарат на основе полигексаметиленгуанидин гидрохлорида не теряет своих биоцидных свойств в условиях повышенных температур (до 45 °С). Можно считать целесообразным использование исследуемого биоцидного препарата для предотвращения развития в воде бассейнов микроорганизмов и водорослей при повышенных температурах в условиях южных регионов.

Снижение концентрации активного вещества от 2,0 % до 0,5 %, показало, что альгицидная, фунгицидная и бактерицидная активности в указанном интервале концентраций снижаются незначительно, что делает использование средства более экономически выгодным.

Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Петухова, Е. О.** Методы обеззараживания воды в плавательном бассейне / Е. О. Петухова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8. – № 2. – С. 36-51.
2. **Лебедева, Т. Л.** О способах дезинфекции воды в плавательных бассейнах (обзор) / Т.Л. Лебедева // Гигиена и санитария. – 1992. – № 3. – С. 17-20.
3. **Гончарова, Е. Н.** Роль микроскопических водорослей в процессах повреждения городских зданий / Е. Н. Гончарова, М. И. Василенко, В. М. Нарцев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 6. – С. 192-196.
4. **Гиззатова, Г. Л.** Разработка метода очистки воды в плавательных бассейнах от поверхностно-активных веществ : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / Г. Л. Гиззатова ; ВолгГАСУ. – Волгоград, 2014. – 24 с.
5. Виды устройств обеззараживания воды в бассейнах / А. А. Пляскина [и др.] // Молодежная научная весна: материалы I Научно-практической конференции молодых исследователей ЗабГУ. В 4-х частях. – Ч. 1. – Чита: Издательство ЗабГУ, 2023. – С. 36-40.
6. **Аль Майтами Валид Абдулвахед Мохаммед.** Геоэкологическое обоснование совершенствования водообеспечения в странах Аравийского полуострова : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Аль Майтами Валид Абдулвахед Мохаммед; РГГМУ. – Санкт-Петербург, 2009. – 23 с.
7. **Кристоф Саунус.** Строительство и эксплуатация частных и общественных бассейнов открытого и закрытого типа, включая массажные и лечебные ванны. Проектирование плавательных бассейнов / Кристоф Саунус. – АГ.: Краммер Ферлаг Дюссельдорф, 1998. – 460 с.
8. **Petrosian, V. S.** Prirodnaia i pit'evaia voda: problemy khimicheskoi bezopasnosti [Natural and drinking water: problems of chemical safety] / V. S. Petrosian // Clean water: problems and solutions. – 2010. – № 1. – Pp. 31-35.
9. **Рогожкин, Г. И.** Очистка и обеззараживание воды в бассейнах / Г. И. Рогожкин // Сантехника. – 2003. – № 4.– С. 4-9.
10. **Василенко, М. И.** Оценка влияния температуры на эффективность биоцидов, используемых для дезинфекции воды бассейнов / М. И. Василенко, Д. О. Половнева, М. В. Иванова // Актуальные аспекты и перспективы развития современной биотехнологии: сб. докл. Международная научная конференция. – Белгород: Издательство БГТУ, 2024. – С. 324-330.
11. Полимерные биоциды / В. Тарасевич [и др.] // Наука и инновации. – 2019. – № 11(201). – С. 23-26.
12. Особенности применения озона в обработке воды в экспериментальной установке УЛ-2 / Корса-Вавилова Е. В. [и др.] // Chemical Bulletin. – 2023. – Том 6. – № 1. – С. 21-29.

13. Гигиенические и санитарно-технические аспекты применения в водопроводной практике реагентов на основе ПГМГ-ГХ / С. И. Плитман [и др.] // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2016. – № 2(98). – С. 70-74.

14. **Искаков, М. В.** Оценка содержания хлораминов в воде плавательных бассейнов г. Хабаровска / М. В. Искаков // Молодой ученый. – 2020. – № 27.1 (317.1). – С. 39-41.

15. **Воинцева, И. И.** Полигексаметиленгуанидин гидрохлорид для очистки и обеззараживания воды как альтернатива реагентам-окислителям / И. И. Воинцева // Вода: химия и экология. – 2011. – № 8. – С. 28-35

16. Effect of temperature on bactericidal effect and physicochemical properties of acidic electrolyzed water / Z. Ge [et al.] // Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology. – 2015. – No. 15(2). – Pp. 132-137.

17. **Дмитриева, М. Б.** Разработка технологии биозащиты волокнистых материалов музейного назначения и методов ее оценки : дис. канд. техн. наук : 05.19.02 / Мария Борисовна Дмитриева; РГУ им. А.Н. Косыгина. – Москва, 2016. – 179 с.

18. **Борисова, С. Д.** Биотестирование: методические указания по выполнению лабораторных работ / С. Д. Борисова. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2015. – 64 с.

Поступила в редакцию 23 сентября 2024

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF A COMPLEX BIOCIDE FOR POOL WATER

D. O. Polovneva, M. I. Vasilenko

Daria Olegovna Polovneva, postgraduate student, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russia, tel.: +7(960)622-02-38; e-mail: dasha1021998@mail.ru
Marina Ivanovna Vasilenko, Cand. Sc. (Biology), Associate Professor, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russia, tel.: +7(915)566-77-48; e-mail: vasilemn@mail.ru

Environmentally friendly and safe disinfection solutions, namely polymer ionogenic biocides based on synthetic high-molecular polyguanidines, have recently been increasingly offered as an alternative solution for pool water treatment. Such substances include polyhexamethylene guanidine hydrochloride (PGMG-GC), which has a wide spectrum of prolonged biocidal action in the water temperature range of 0...30 °C and pH 6...9. The paper presents the results of studies on the identification of algicidal, fungicidal, bactericidal properties of a biocidal multifunctional agent (BMS) based on guanidine derivatives in the temperature range of 20...45 °C, taking into account its possible use for outdoor swimming pools, especially in southern countries. The high biocidity of the concentrated solution has been experimentally proven in relation to unicellular algae that cause *water blooming*, enterobacteria, often found in pool waters, and microscopic fungi that inhabit surfaces at elevated temperatures and humidity.

Keywords: pool water; ambient temperature; disinfection; biocide; bactericidal activity; fungicidity; algicidal activity.

REFERENCES

1. **Petukhova E. O.** *Methods of disinfection of water in a swimming pool.* Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture. 2017. Vol. 8. No. 2. Pp. 36-51. (in Russian).

2. **Lebedeva T. L.** *On methods of disinfection of water in swimming pools (review).* Hygiene and sanitation. 1992. No. 3. Pp. 17-20.

3. **Goncharova E. N., Vasilenko M. I., Nartsev V. M.** *The role of microscopic algae in the processes of damage to urban buildings*. Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2014. No. 6. Pp. 192-196. (in Russian).
4. **Gizatova G. L.** *Development of a method for purifying water in swimming pools from surfactants*. Volgograd, VSUACE. 2014. 24 p. (in Russian).
5. **Plyaskina A. A.** *Types of water disinfection devices in swimming pools*. Youth scientific spring: materials of the L Scientific and practical conference of young researchers of TBSU. In 4 parts. Part 1. Chita. TBSU Publishing House. 2023. Pp. 36-40. (in Russian).
6. **Al Maytami Walid Abdulwahed Mohammed.** *Geoecological justification for improving water supply in the countries of the Arabian Peninsula*. St. Petersburg. RSHU. 2009. 23 p. (in Russian).
7. **Christophe Saunus.** *Construction and operation of private and public outdoor and indoor swimming pools, including massage and therapeutic baths. Designing swimming pools*. Dusseldorf. Germany. Publishing house of Krammer Verlag Dusseldorf. 1998. 460 p. (in Russian).
8. **Petrosian V. S.** *Prirodnaya i pit'evaya voda: problemy khimicheskoi bezopasnosti [Natural and drinking water: problems of chemical safety]*. Clean water: problems and solutions. 2010. No. 1. Pp. 31-35.
9. **Rogozhkin G. I.** *Purification and disinfection of water in swimming pools*. Plumbing. 2003. No. 4. P. 4-9. (in Russian).
10. **Vasilenko M. I., Polovneva D. O., Ivanova M. V.** *Assessment of the influence of temperature on the effectiveness of biocides used for disinfection of pool water*. Current aspects and prospects for the development of modern biotechnology: collection of documents. International Scientific Conference. Belgorod. Publishing House of BSTU. 2024. Pp. 324-330. (in Russian).
11. **Tarasevich V.** *Polymer biocides*. Science and innovation. 2019. No. 11(201). Pp. 23-26. (in Russian).
12. **Korsa-Vavilova E. V.** *Features of the use of ozone in water treatment in the experimental installation UL-2*. Chemical Bulletin. 2023. Vol. 6. No. 1. Pp. 21-29. (in Russian).
13. **Plitman S. I.** *Hygienic and sanitary-technical aspects of the use of reagents based on PHMG-HCl in plumbing practice*. Water treatment. Water treatment. Water supply. 2016. No. 2(98). Pp. 70-74. (in Russian).
14. **Iskakov M. V.** *Assessment of the content of chloramines in the water of swimming pools in Khabarovsk*. Young Scientist. 2020. No. 27.1(317.1). Pp. 39-41. (in Russian).
15. **Vointseva I. I.** *Polyhexamethylene guanidine hydrochloride for purification and disinfection of water as an alternative to oxidizing reagents*. Water: chemistry and ecology. 2011. No. 8. Pp. 28-35. (in Russian).
16. **Ge Z.** *Effect of temperature on bactericidal effect and physicochemical properties of acidic electrolyzed water*. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology. 2015. No. 15(2). Pp. 132-137.
17. **Dmitrieva M. B.** *Development of biosecurity technology for fibrous materials for museum use and methods of its assessment*. Moscow. Kosygin Russian State University. 2016. 179 p. (in Russian).
18. **Borisova S. D.** *Biotesting: guidelines for performing laboratory work*. Kazan. Kazan State Energy University. 2015. 64 p. (in Russian).

Received 23 September 2024

Для цитирования:

Половнева, Д. О. Оценка эффективности комплексного биоцида для воды бассейнов / Д. О. Половнева, М. И. Василенко // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 3(30). – С. 64-72. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.007.

FOR CITATION:

Polovneva D. O., Vasilenko M. I. *Evaluation of the effectiveness of a complex biocide for pool water*. Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 3(30). Pp. 64-72. DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.007. (in Russian)

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ,
РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО**

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

DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.008

УДК 711.16

**ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННОЙ РЕКРЕАЦИОННОЙ СРЕДЫ
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СПОРТИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ
НА БАЗЕ ВЕЛОДРОМ-АРЕНЫ (Г. БРЯНСК)**

В. В. Кокорина, Е. В. Золотарева

Кокорина Вероника Викторовна, магистрант, кафедра архитектуры, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева», Орел, Российская Федерация, тел.: +7(980)362-60-57; e-mail: kokorina.veronica@yandex.ru

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

В статье рассматриваются приемы формирования качественной и привлекательной рекреационной среды на примере проекта территории многофункционального спортивного комплекса на базе велодром-арены в городе Брянск. При проектировании благоустройства рекреационной зоны спортивного комплекса учитывали различные возрастные категории посетителей и стремились к созданию удобного, доступного и многофункционального пространства. Выделены следующие функциональные зоны: зона мероприятий, зоны тихого отдыха посетителей и персонала, спортивная зона с площадками различного назначения, парковка. При проектировании был использован метод модульной сетки, описанный известным ландшафтным дизайнером Джоном Бруксом. Суть метода состоит в том, что контуры всех функциональных зон проектируемого пространства и элементы благоустройства вписываются в наложенную на план участка сетку квадратов. Для гармоничной связи территории с основным зданием размер стороны модульного квадрата должен быть равен или пропорционален какому-либо доминантному элементу здания (расстояние между колоннами, ширина оконного проема и т.д.). В результате получены несколько вариантов проекта благоустройства территории многофункционального спортивного комплекса. В данной статье представлен наиболее удачный с точки зрения авторов вариант, в котором границы функциональных зон очерчивались с помощью прямых, диагональных и дугообразных линий. Для разграничения функциональных зон и акцентирования основных направлений движения использовались рядовые посадки деревьев и кустарников, подчеркивающие геометрию планировки территории.

Ключевые слова: рекреационная зона; многофункциональный спортивный комплекс; велодром-арена; экопозитивность; ландшафтный дизайн; модульная сетка; озеленение; благоустройство.

В современных городских условиях крайне важно повышение качества жизни и благополучия общества в целом и каждого человека в отдельности. Высокая концентрация различных видов человеческой деятельности привела к нарушению оптимального баланса между естественными и искусственными компонентами ландшафта в сторону искусственных, в связи с чем перед градостроителями и архитекторами встаёт задача комплексного улучшения качества жизни, всемерного поддержания и максимального увеличения природной составляющей городской среды.

В последнее время огромный интерес специалистов различных направлений (медицина, экология, архитектура, ландшафтная архитектура, урбанистика, социология) обращено к проблеме гармонизации среды обитания человека и взаимовлияния человека и среды [1]. Именно при погружении в естественную среду когнитивные усилия человека направляются непосредственно на отдых, что благоприятно влияет на восстановление внимания, способствует снижению умственной усталости и уменьшению уровня психологического стресса [2].

Ландшафт современного города отражает все разнообразие и противоречивость происходящих в нем процессов. Естественное расширение городских территорий и возрастание технологических возможностей преобразования природы сделали привычным изменение ландшафта города и его окружения. Нивелирование природной подосновы в процессе строительства значительной части новых жилых районов с преобладанием типовой застройки свело к минимуму представление об индивидуальном облике отдельных фрагментов города [3].

Аспекты формирования комфортной рекреационной среды в населенных пунктах рассматриваются с различных точек зрения: экологической, психологической, физиологической и т.д. Традиционно, крупные рекреационные пространства (парки, лесопарки), помимо зон тихого отдыха и прогулок, включают разнообразные спортивные площадки для активного времяпровождения. И так же традиционно на территориях крупных спортивных сооружений размещаются функциональные зоны, не связанные напрямую со спецификой спортивного комплекса [4]. Такие объекты с разнообразной рекреационной средой становятся центрами притяжения района или города в целом, увеличивается их посещаемость и, в конечном итоге, экономическая эффективность спортивного комплекса.

В статье А. Е. Рыбаковой, А. В. Суровенкова, Я. А. Коржемпо отмечается, что спортивные архитектурные сооружения – наиболее востребованные среди типологий архитектуры XXI века. В результате анализа мирового опыта проектирования территорий в составе спортивных объектов выявлен перечень основных функциональных зон, включающих зоны проведения массовых мероприятий, зону коммерции, зоны дополнительных спортивных площадок, пешеходную сеть и парковочное пространство [5].

Вопросам взаимодействия архитектуры и окружающей среды с точки зрения биопозитивности и повышения качества жизни посвящена работа Е. Н. Приваловой, в которой отмечена важность проектирования новых или преобразования уже существующих зданий и сооружений «на использовании мероприятий, способствующих экологическому равновесию между объектом и окружающей природной средой». Ведущим направлением по улучшению экологической обстановки в городах является придание биопозитивности зданиям и сооружениям. Такие объекты выполняют функцию формирования благоприятной и безопасной среды для жизнедеятельности человека, а также отсутствие негативного влияния на окружающую природу [6].

Озелененные рекреационные пространства способствуют укреплению физического и психологического здоровья, в связи с этим проблема уменьшения зеленых рекреационных зон ставится «в разряд стратегически важных, так как речь идет о сохранении и укреплении здоровья населения» [7]. Т. С. Ярмош, М. А. Бабаева отмечают все возрастающую роль ландшафтной архитектуры в формировании комфортной городской среды, на основе анализа теоретического и практического опыта отечественного градостроительства выявляют основные принципы проектирования общественных территорий: взаимодействие с окружением, структуризация, оптимизация, преемственность и гармонизация [8].

Создание привлекательных и функциональных рекреационных зон является все более важным для обеспечения гармонии и удовлетворения потребностей горожан в эмоциональном и физическом благополучии. Рекреационные зоны становятся своеобразными оазисами в суете городской жизни, местами, где люди могут отдохнуть, восстановиться и

насладиться окружающей средой. В данной статье в качестве такого места притяжения рассматривается многофункциональный спортивный комплекс на базе велодром-арены.

Велосипедный спорт пользуется огромной популярностью во всем мире. Мода на велосипедные прогулки пришла в Россию относительно недавно, однако уже успела укрепиться в нашей стране. Секрет популярности велоспорта кроется в его доступности: чтобы зарядиться энергией на всю рабочую неделю, достаточно собрать друзей и отправиться на выходных на велопрогулку. Езда на велосипеде помогает укрепить здоровье и улучшить настроение. Велоспорт может быть рассмотрен как инструмент совершенствования населения, оказывающий оздоровительное, воспитательное и социально-экономическое воздействие на развитие человечества. Современные тенденции в развитии общества и спорта, потребность населения в реализации концепции здорового образа жизни, популяризация велоспорта, а также перспективы объединения любительского и профессионального подхода к нему предопределяют стремление к сближению уровня объектов для профессионального и любительского спорта, объединение их в единые комплексы для решения градостроительных задач и необходимость в разработке новых подходов к организации многофункциональных спортивных комплексов на базе велодром-арены, которые необходимо рассматривать как сложную, целостную систему, включающую в себя шесть взаимосвязанных подсистем: «человек», «спортивная среда», «сервис», «управление», «инженерная инфраструктура» и «природа» [9].

Многофункциональный спортивный комплекс на базе велодром-арены – это место встречи единомышленников, воодушевления сообществ спортсменов и болельщиков, создания полноценной атмосферы общения, поэтому при проектировании такого объекта крайне важен комплексный подход: не только продуманная концепция, планировочное решение, технологии, но также дизайн и благоустройство прилегающей территории для повышения привлекательности объекта в частности и улучшения качества жизни в городе в целом.

Основная цель проведенных проектно-исследовательских работ – формирование качественной рекреационной среды многофункционального спортивного комплекса на базе велодром-арены. Для ее достижения нами решались следующие задачи:

- ✓ обоснование выбора места для размещения многофункционального спортивного комплекса;
- ✓ анализ основных направлений движения посетителей;
- ✓ размещение основных функциональных зон на территории многофункционального спортивного комплекса;
- ✓ применение метода модульной сетки для разработки благоустройства территории.

Проектируемый многофункциональный спортивный комплекс на базе велодром-арены, в соответствии с Приказом Министерства спорта РФ от 25.02.2016 №172¹, предполагает проведение межрегиональных и городских физкультурных и спортивных мероприятий. Территория строительства расположена в центральной части города Брянск, благодаря чему объект будет связан маршрутами городского общественного транспорта со всеми районами и микрорайонами города (рис. 1). Участок расположен в новом строящемся жилом микрорайоне на пересечении улицы Советская и магистральной улицы Объездная, территория ограничена: с северо-запада – общественно-деловой застройкой, включающей торговый центр «Аэропарк»; с юго-востока – строящейся жилой застройкой; с юго-запада – общественной застройкой, в которую входит строящийся Дворец единоборств; с северо-востока – жилой застройкой (рис. 2).

Включение проектируемого спортивного комплекса в существующую застройку осуществляется по принципу вписывания нового объекта в уже сложившуюся среду. Целостность застройки достигается за счёт сомасштабности здания с окружающей застройкой

¹ Приказ Минспорта России от 25.02.2016 N 172 «Об утверждении классификатора объектов спорта»

кой, а также частичного копирования ритма оконных проёмов и заимствования цветовой гаммы у Дворца единоборств, фасады которого решены в универсальном белом цвете. Дополнительным инструментом гармонизации выступает комплексное озеленение территории участка, в том числе вдоль автомагистрали, которое «окутывает» новое здание, связывая и объединяя его со сложившимся окружением.



Рис. 1. Ситуационный план г. Брянск

Главный принцип проектирования объекта – взаимодействие с его окружением. Т.е. должна быть реализована функциональная и композиционная связь проектируемого объекта с элементами городской среды: природным ландшафтом и окружающей застройкой. Это обуславливает связь разных частей города, объединяются архитектурные и природно-ландшафтные территории, формируются современные общественные пространства [10].



Рис. 2. Ситуационный план района строительства

Создание привлекательной рекреационной зоны многофункционального спортивного комплекса на базе велодром-арены основано на использовании нескольких принципов, таких как многофункциональность, удобство и доступность, применение современных технологий, экопозитивность и ландшафтный дизайн.

Многофункциональность

Планировочное решение самого здания многофункционального спортивного комплекса на базе велодром-арены и прилегающей территории предусматривает интеграцию в объёмно-планировочную структуру объекта дополнительных спортивных функций и размещение на участке разнообразных спортивных и обслуживающих структур для удовлетворения потребностей и интересов различных возрастных групп и категорий населения, таких как специализированные тренировочные площадки, в частности, для веломотокросса, а также открытую площадь для массовых мероприятий, разделённые зоны активного и тихого отдыха как для посетителей, так и для персонала, а также вместительные парковочные зоны личного транспорта, спортивных автобусов и велосипедов.

Удобство и доступность

Планировочную организацию территории спортивного сооружения проектируется в соответствии СП 118.13330.2022² для обеспечения допуска и перемещения в различные функциональные зоны всех клиентских групп и их транспортных средств. Крайне важно обеспечить доступность и возможность комфортного пребывания на территории объекта для всех горожан, в том числе для представителей маломобильных групп населения, что достигается путем решения генерального плана участка застройки, учитывающего разработку удобных транспортных, пешеходных и велосипедных маршрутов для разделения людских потоков, а также использование таких приёмов облегчения передвижения по территории, как стамп-лестницы, современные пандусы и трансформируемые лестницы.

Инновационные технологии

Проектом предполагается применение современных инженерных и строительных технологий, таких как солнечные батареи для энергоснабжения, системы умного орошения растительности, экологически чистые материалы, что помогает создать устойчивый и экологичный многофункциональный спортивный комплекс за счёт экономии ресурсов. Качественное освещение также является важным фактором привлекательности рекреационной зоны в тёмное время суток. Использование различных типов освещения, таких как фонари, световые инсталляции и подсветка архитектурных элементов и малых архитектурных форм, позволяет создать уютную и безопасную среду.

Экопозитивность

Многофункциональный спортивный комплекс за счёт интеграции в структуру здания разных спортивных и общественных функций решён компактно для экономии пространства и сокращения тепловых потерь при его эксплуатации. Комплекс органично вписан в окружающую среду и гармонично сочетается с архитектурой города, что достигается за счёт соблюдения таких принципов архитектурной бионики, как: использование при решении фасадов и открытых общественных пространств экологичных материалов, подражание природным формам при формировании конструктивной и объёмно-пространственной структуры самого здания и композиции участка, фасадного решения, а также качественное озеленение территории для разбавления статичности городской среды и благоприятного воздействия на эмоциональное состояние горожан.

Ландшафтный дизайн

Ландшафтный дизайн, как одна из динамично развивающихся областей творческой деятельности человека по формированию его полноценного окружения, неизбежно оказывается в центре внимания при проектировании новых объектов спорта, так как обладает большими нереализованными возможностями. Архитектор-дизайнер ландшафта и озеле-

² СП 118.13330.2022 «СНиП 31-06-2009 Общественные здания и сооружения»

нения территории разрабатывает не только проекты благоустройства и озеленения, а скорее идеологию будущей пространственной культуры, в среде которой должны идти процессы социального и интеллектуального развития человека [11].

Качественные перемены в использовании преобразованных природных компонентов заключаются в отказе от пассивного увеличения площади озеленённых территорий и переходе к оптимальному структурированию пространства [3]. Одним из самых удобных способов грамотного создания композиции пространства является описанный Джоном Бруксом метод модульной сетки, согласно которому скрытым элементом садового дизайна является размер, который уникален для определённой площадки, выраженной в форме решётки, при этом размер квадратов решётки должен соотноситься с доминантным элементом здания, так как он – самая важная структура на площадке. Таким образом, используя формы внутри решётки и повторяя их, возможно создать проект, имеющий визуальной единство со зданием. Джон Брукс отмечает важность развития проекта благоустройства от жизненного пространства без слепой привязки к границам участка, что позволяет «не совершать типичную ошибку многих садовых дизайнов» [12].

При разработке планировочного решения участка комплекса был применён вышеупомянутый метод модульной сетки, разработана функциональная схема участка по сетке с использованием трёх приёмов (квадраты, диагонали, дуги) (рис. 3). В качестве модульного размера квадратов решётки выбрана половина ширины основного пожарного проезда – 3 метра. При построении композиции участка по модульной сетке с комбинированием трёх приёмов территория выглядит плавной, тягучей и одновременно динамичной, что метафорично отражает суть физической культуры и спорта.

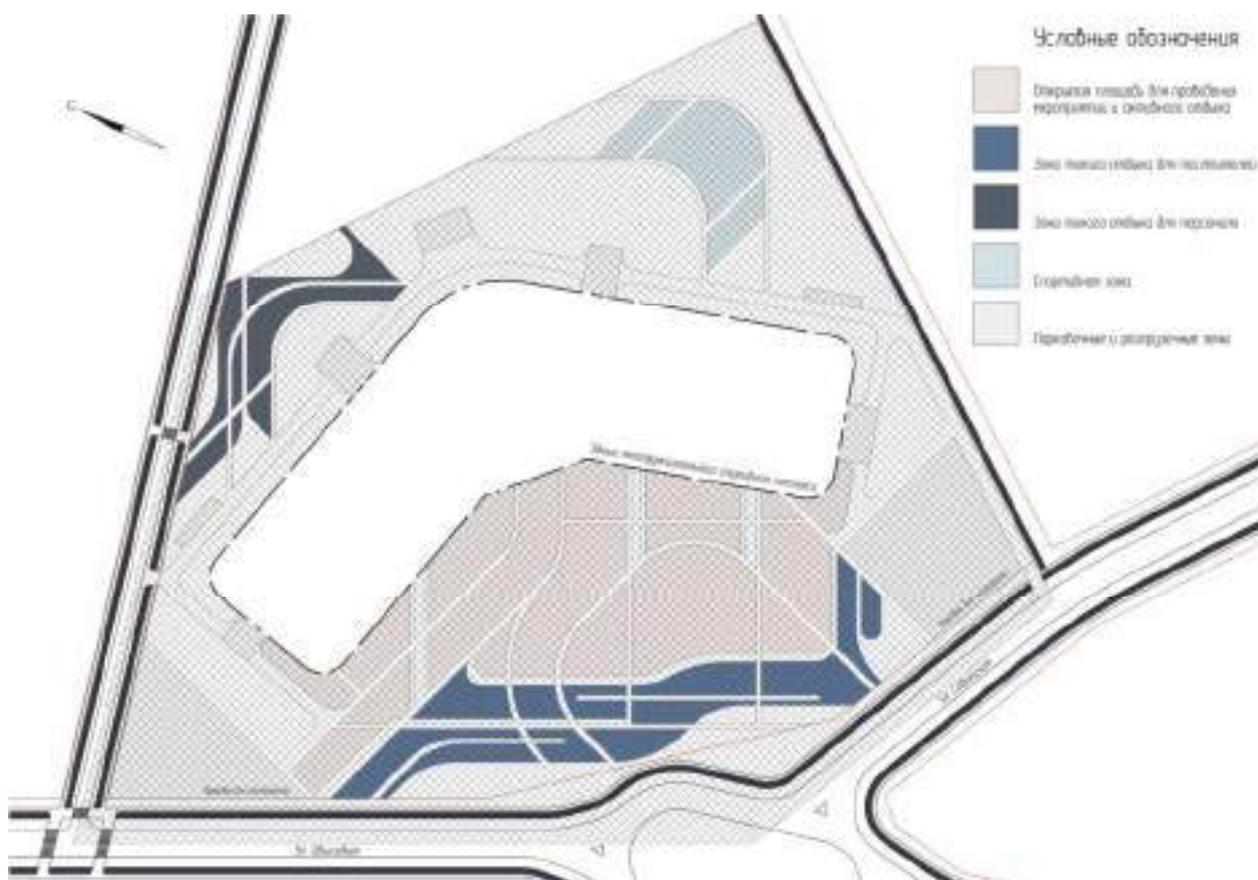


Рис. 3. Схема функционального зонирования по модульной сетке с использованием трёх приёмов

На основе полученной схемы разработан план благоустройства территории (рис. 4). Перспектива видовой точки представлена на рис. 5. Источником вдохновения для создания композиционной структуры площади послужила принципиальная схема разводки

электропроводки шлейфом, предполагающая создание общей магистрали проводки через распределительные коробки, а от них – ответвления на электрические точки. Дорожки являются своеобразным каркасом всей композиции, а площадки, выполняющие функцию островков тихого отдыха, за счет своей формы одновременно являются направляющими путями и подводят к центру площади, распределяясь на новые направляющие, ведущие к входам в здание. Композиционное решение подчеркивается с помощью мощения разного цвета: основные направления движения, формирующие каркас территории, обозначены мощением светлого (почти белого) цвета, а пространство между ними – более темным. За счет такого приема пространство кажется более уютным и заполненным. Малые архитектурные формы (МАФ), представленные длинными белыми монолитными скамьями (рис. 5), также поддерживают общее композиционное решение территории.



Рис. 4. План благоустройства территории

Что касается приемов озеленения, то они также способствуют формированию четких линий на территории велодром-арены. В основном растительность представлена рядовыми посадками хвойных деревьев: туи западной «*Smaragd*» и кипарисовика Лавсона «*Darts Blue Ribbon*», благодаря которым территория будет привлекательной в течение всего года. Лиственные кустарники, также линейно расположенные, будут вносить некоторое сезонное разнообразие в озеленение территории за счет периодов цветения и осенней окраски листьев (пузыреплодник калинолистный «*Summer Wine*», спирея Вангутта, кизильник блестящий). Вся растительность подобрана таким образом, чтобы гармонировать со зданием велодром-арены (рис. 5).



Рис. 5. Перспектива видовой точки 1

Технико-экономические показатели приведены в таблице, из данных которой следует, что на открытые пространства (покрытия и озеленение) приходится 77 %, т.е. на территории велодром-арены созданы условия для разнообразного отдыха населения.

Технико-экономические показатели генерального плана

Поз.	Наименование	Кол-во, м ²	%
1	Площадь участка	99021	100
2	Площадь застройки	23131	23
3	Площадь твердого покрытия	45266	46
4	Площадь озеленения	30624	31

Заключение.

В результате проектирования рекреационной среды многофункционального спортивного комплекса велодром-арены обоснован выбор места для размещения многофункционального спортивного комплекса, с учетом его расположения в структуре города и степени доступности для населения.

В соответствии с анализом градостроительного окружения территории проектируемого комплекса определены максимально удобные точки входов на территорию и направления движения посетителей по территории спортивного комплекса.

Размещение основных функциональных зон произведено также на основании анализа градостроительного окружения. Для формирования гармоничной рекреационной среды, сочетающейся с основным зданием велодром-арены, при проектировании благоустройства территории применялся метод модульной сетки, что способствовало созданию уникальной художественно выразительной рекреационной среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Василенко, Н. А.** Определяющие факторы в формировании системы ландшафтно-рекреационных пространств города / Н. А. Василенко // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии:

сборник научных статей к Междунар. научно-практической конференции (XVIII научные чтения). – Белгород, 2007. – Ч. 3. – С. 18-21.

2. **Beyer, K. M. M.** Exposure to neighborhood green space and mental health: Evidence from the survey of the health of Wisconsin / K. M. M. Beyer, A. Kaltenbach, A. Szabo, S. Bogar, F. J. Nieto, K. M. Malecki // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2014. – №11 (3). – Pp. 3453-3472.

3. **Нефедов, В. А.** Ландшафтный дизайн и устойчивость среды / В. А. Нефедов. – Санкт-петербург: Полиграфист, 2002. – 295 с.

4. **Горохов, В. А.** Зеленая природа города: учебное пособие для вузов / В. А. Горохов. – Москва: Архитектура-С, 2005. – 528 с.

5. **Рыбакова, А. Е.** Направления развития территорий в составе спортивных объектов / А. Е. Рыбакова, А. В. Суровенков, Я. А. Коржемпо // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 5. – С. 264-268.

6. **Привалова, Е. Н.** Взаимодействие архитектуры и окружающей среды с использованием принципов биопозитивности / Е. Н. Привалова, А. Ю. Сергеева // Строительство и техногенная безопасность. – 2021. – № 23(75). – С. 13-25.

7. **Морозова, С. В.** Роль рекреационного пространства и стресс факторов городской среды (на примере жителей мегаполиса и малых городов) / С. В. Морозова // Архитектура, градостроительство и дизайн. – 2022. – № 32. – С. 13-23.

8. **Ярмош, Т. С.** Роль ландшафтной архитектуры в формообразовании общественных пространств современного города / Т. С. Ярмош, М. А. Бабаева // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2020. – № 12. – С. 102-109.

9. **Белонос, С. А.** Системный подход в теории архитектурного формирования многофункциональных спортивных комплексов / С. А. Белонос // Вестник ТГАСУ. – 2009. – № 2(23). – С. 58-64.

10. **Аганина, Н. С.** К вопросу о специфике русской проектности / Н. С. Аганина, М. С. Третьякова // Техническая эстетика и дизайн-исследования. 2011. – № 1. – С. 10-16.

11. **Архитектура, строительство, дизайн:** учебник для студентов высших архитектурно-строительных учебных заведений / ред. А. Г. Лазарев. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. – 320 с.

12. **Брукс, Дж.** Дизайн сада / Дж. Брукс. – Москва: Бертельсманн, 2009. – 384 с.

Поступила в редакцию 26 марта 2024

FORMATION OF A QUALITY RECREATIONAL ENVIRONMENT OF MULTIFUNCTIONAL SPORTS COMPLEXES BASED ON THE VELODROME ARENA (THE CITY OF BRYANSK)

V. V. Kokorina, E. V. Zolotareva

Veronika Viktorovna Kokorina, master's student, Department of Architecture, Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia, tel.: +7(980)362-60-57; e-mail: kokorina.veronica@yandex.ru

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

The article discusses methods of forming a high-quality and attractive recreational environment using the example of a project for the territory of a multifunctional sports complex based on a velodrome-arena in the city of Bryansk. When designing the landscaping of the recreational area of the sports complex, we took into account different age categories of visitors and strived to create a comfortable, accessible and multifunctional space. The following functional areas have been identified: an event area, quiet recreation areas for visitors and staff, a sports area with playgrounds for various purposes, parking

zone. The modular grid method described by the famous landscape designer John Brooks was used in the design. The essence of the method is that the contours of all functional zones of the designed space and landscaping elements fit into a grid of squares superimposed on the site plan. For a harmonious connection between the territory and the main building, the size of the side of the modular square must be equal or proportional to any dominant element of the building (the distance between columns, the width of the window opening, etc.). As a result, several variants of the landscaping project of the multifunctional sports complex were obtained. This article presents the most successful variant from the authors' point of view, in which the boundaries of functional zones were delineated using straight, diagonal and arcuate lines. To delimit functional zones and emphasize the main directions of movement, row plantings of trees and shrubs were used, emphasizing the geometric layout of the territory.

Keywords: recreational area; multifunctional sports complex; velodrome-arena; eco-positivity; landscape architecture; modular grid; landscaping; improvement.

REFERENCES

1. **Vasilenko N. A.** *Determining factors in the formation of the system of landscape and recreational spaces of the city.* Scientific research, nanosystems and resource-saving technologies in the construction industry: collection of scientific articles for the International scientific-practical conference (XVIII scientific readings). Belgorod. 2007. Part 3. Pp. 18-21. (in Russian)
2. **Beyer K. M. M., Kaltenbach A., Szabo A., Bogar S., Nieto F. J., Malecki K. M.** *Exposure to neighborhood green space and mental health: Evidence from the survey of the health of Wisconsin.* International Journal of Environmental Research and Public Health. 2014. No. 11(3). Pp. 3453-3472.
3. **Nefedov V. A.** *Landscape design and environmental sustainability.* St. Petersburg, Polygraphist. 2002. 295 p. (in Russian)
4. **Gorokhov V. A.** *Green nature of the city: Textbook for universities.* Moscow, Architecture-S. 2005. 528 p. (in Russian)
5. **Rybakova A. E., Surovenkov A. V., Korzhempo Ya. A.** *Directions for the development of territories as part of sports facilities.* Innovations and investments. 2020. No. 5. Pp. 264-268. (in Russian)
6. **Privalova E. N., Sergeeva A. Yu.** *Interaction of architecture and the environment using the principles of biopositivity.* Construction and technogenic safety. 2021. No. 23(75). Pp. 13-25. (in Russian)
7. **Morozova S. V.** *The role of recreational space and stress factors of the urban environment (on the example of residents of a metropolis and small towns).* Architecture, urban planning and design. 2022. No. 32. Pp. 13-23. (in Russian)
8. **Yarmosh T. S., Babaeva M. A.** *The role of landscape architecture in the formation of public spaces of a modern city.* Herald of the BSTU named after V. G. Shukhov. 2020. No. 12. Pp. 102-109. (in Russian)
9. **Belonosov S. A.** *Systematic approach to the theory of architectural formation of multifunctional sports complexes.* Bulletin of TGASU. 2009. No. 2 (23). Pp. 58-64. (in Russian)
10. **Aganina N. S., Tretyakova M. S.** *On the issue of the specifics of Russian design.* Technical aesthetics and design research. 2011. No. 1. Pp. 10-16. (in Russian)
11. *Architecture, construction, design: textbook for higher education students arch.-build. Institutions.* Edit. A. G. Lazarev. Rostov-on-Don, Phoenix. 2005. 320 p. (in Russian)
12. **Brooks J.** *Garden design.* Moscow, Bertelsmann. 2009. 384 p. (in Russian)

Received 26 March 2024

Для цитирования:

Кокорина, В. В. Формирование качественной рекреационной среды многофункциональных спортивных комплексов на базе велодром-арены (г. Брянск) / В. В. Кокорина, Е. В. Золотарева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 3(30). – С. 73-83. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.008.

FOR CITATION:

Kokorina V. V., Zolotareva E. V. *Formation of a quality recreational environment of multifunctional sports complexes based on the velodrome arena (The city of Bryansk).* Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 3(30). Pp. 73-83. DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.008. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.009

УДК 711.581-168

ВНЕДРЕНИЕ УМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕСС КОМПЛЕКСНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

А. А. Федоровская, Е. С. Калайчева, Л. Ю. Саркисян

Федоровская Альбина Ахмедовна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры городского строительства и хозяйства, Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация, младший научный сотрудник, НИИСФ РААСН «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», Москва, Российская Федерация, тел.: +7(863)201-90-99; e-mail: bina-87@mail.ru

Калайчева Екатерина Сергеевна, бакалавр кафедры городского строительства и хозяйства, Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация, тел.: +7(863)201-90-99; e-mail: esskatena@mail.ru

Саркисян Лиана Юриковна, бакалавр кафедры городского строительства и хозяйства, Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация, тел.: +7(863)201-90-99; e-mail: korollilya@yandex.ru

Основной целью является определение концепции комплексной реконструкции городской застройки с учетом экологического аспекта и внедрения технологий «умного города». Объектом исследования являются технологии, применяемые для создания умной городской среды. На первом этапе исследования производится анализ опыта внедрения технологий, применяемых для создания «умной» и озелененной городской среды. Следующим этапом исследования является подбор возможных вариантов применения умных технологий для улучшения экологической ситуации Октябрьского района в г. Ростов-на-Дону, ограниченного улицами: Таганрогская, Вавилова, Тимошенко, Оганова. Проведен анализ экологической ситуации выбранной территории реконструкции. На заключительном этапе рассчитан показатель – индекс IQ города Ростов-на-Дону для текущего состояния и после внедрения технологий «умный город».

Ключевые слова: умный город; реконструкция; комплексная реконструкция; город; городская застройка; экологический риск; индекс развития города; IQ города; умные технологии.

В условиях интенсивных изменений урбанизированных территорий возникают проблемы, связанные с формированием комфортной среды обитания с точки зрения экологических и эстетических требований. Актуальными проблемами при формировании комфортной среды жизнедеятельности являются: комфортность жилья и качество его эксплуатации, ошибки в планировке территории и организации транспортного сообщения, степень загрязнения воздуха, почв и водоемов. Стоит отметить, что архитектурно-планировочные решения и благоустройство жилых зданий должно обеспечивать не только удобные, но и здоровые условия для жизни человека.

Процесс реконструкции включает себя такие методы как: реставрация, регенерация, реабилитация, ревалоризация, новое строительство [1]. Отдельно рассматривается в трудах авторов (Тетиор А.Н., Фоков Р.И.) концепция экологической реконструкции, как совокупности мер и действий, направленных на обеспечение экологической безопасности среды обитания, включая городские и сельские поселения, организацию территорий и обеспечение устойчивого развития территории путем внедрения наукоемких технологий [2,3].

К наукоемким технологиям относится комплекс инновационных решений, ставящих своей целью улучшение качества жизни горожан и оптимизацию городской инфраструктуры по стандарту «Умный город» по Приказу Минстроя России от 31 октября 2018 г. № 695/пр «Об утверждении паспорта ведомственного проекта Цифровизации городского

© Федоровская А. А., Калайчева Е. С., Саркисян Л. Ю., 2024

хозяйства «Умный город».. Комплексная реконструкция городской застройки – это совмещение технологий «умного города» и экологической безопасности.

Технологии, применяемые для создания умной городской среды

Приведение современных городов к стандарту «умный город» должно осуществляться за счет использования передовых технологий для формирования комфортной среды жизнедеятельности его жителей. В таком городе интеллектуальные системы и сети связи интегрируются в инфраструктуру, обеспечивая эффективное управление ресурсами, безопасностью условий жизнедеятельности граждан. Сферы жизнедеятельности, в которые возможно внедрять «умные технологии»: транспортная инфраструктура-интеллектуальные транспортные системы, энергетическая инфраструктура, общественные услуги, контроль безопасности и благоустройство [4].

«Умные технологии», используемые при благоустройстве территории городов:

- ✓ системы видеонаблюдения за общественными пространствами;
- ✓ контроль освещения и «умное» освещение
- ✓ экологичный городской транспорт
- ✓ зеленая инфраструктура – как основа зеленого каркаса города [5, 6].

Для создания умной городской среды совершенствуются строительные нормы и правила, транспортные системы и разрабатываются модели городского экологического развития (рис. 1).

Умные города часто рассматриваются, как концепция будущей городской жизни. Создание таких городов может помочь решить проблемы человека и окружающей среды за счет экономии энергии и регулирования транспортных потоков.



Рис. 1. Классификация умных технологий

На данный момент в России существует нормативно-правовой документ, который регулирует показатели умного города – Приказ Минстроя России от 11 мая 2022 г. № 357/пр. Перечень базовых и дополнительных показателей цифровизации городского хозяйства – Стандарт «Умного города».

В настоящее время используются следующие умные технологии для улучшения городской среды:

- 1) контроль умной утилизации отходов.

Одной из больших проблем загрязнения городской среды является отсутствие сортировки бытового мусора и несвоевременной утилизации отходов.

Во многих городах России стоят специальные баки для сбора пластика, а в некоторых вокзалах крупных и средних городов даже устанавливают отдельные мусорные баки для сортировки стекла, пластика, бумаги и органических отходов [7]. Сортировка важна для снижения воздействия отходов на окружающую среду. Когда организации перерабатывают сортированный мусор для производства новых товаров, это обеспечивает умное потребление. Тем временем органические отходы перерабатываются для производства биогаза и компоста.

Также существуют такие технологии как, датчики на мусорных баках могут оповещать власти, когда они полны, что уменьшает проблему мусора и помогает сохранить ландшафт.

2) Умные парковки и экологичный общественный транспорт.

Центры городов всегда страдают от пробок. В часы пик дороги перегружены, а парковочных мест всегда не хватает. Общественный транспорт соединяет все уголки центра города и в определенной степени решает эти проблемы. Использование общественного транспорта само по себе помогает уменьшить выхлопные газы, но в настоящее время предпринимаются постоянные усилия по эксплуатации автобусов, троллейбусов и трамваев на экологически чистом топливе.

Так, например, в Швейцарии, автобусы оснащены технологией «мгновенной зарядки». Благодаря этой технологии аккумулятор электробуса заряжается мощностью 400 кВт всего за 15 секунд, он использует этот зарядный автомат каждые 3...4 станции и заряжается всякий раз, когда пассажиры садятся и выходят из автобуса.

Второй по распространенности общественный транспорт, который наиболее позиционируется как экологичный – трамвай. Он использует электричество вместо ископаемого топлива для движения по рельсам, что обеспечивает меньший выброс загрязняющих веществ и микрочастиц. Трамваи активно используются Западной Европе, Азии и России [8].

Также предполагаются «умные» парковки, которые будут передавать автомобилям информацию о заполнении парковок. Это может сократить выбросы углерода за счет сокращения поездок на несколько парковок. Тем не менее, поощрение большего количества поездок на общественном транспорте и не моторизованных видах транспорта более эффективно снижает выбросы углерода.

3) Умное освещение.

Проблемы с большими затратами на электроснабжение для городского освещения – еще одна важная отрасль развития умной городской среды. Одним из решений является умное освещение, включающее в себя фонари, которые меняют яркость ламп в зависимости от времени суток. Так, например, в сумерки лампы будут светить не на полную мощность, как ночью. Также для сокращения расходов на электроэнергию используют небольшие солнечные панели, которые устанавливаются непосредственно на фонари с целью накопления экологически чистой электроэнергии для их работы вечером и ночью. Такие технологии применяют в России, США, Испании, Франции.

4) озеленение территории.

Озеленение территории является одним из важнейших показателей улучшения экологической ситуации квартала и города в целом. Система озеленения и грамотной организации зеленых насаждений формируют микроклимат территории и улучшают условия пребывания в местах для отдыха на открытом воздухе и т.д. Как правило, это достигается за счет сохранения естественных зеленых массивов [9]. Так, например, в Италии используют вертикальное озеленение в многоквартирных жилых домах. На балконе каждой квартиры в кашпо находятся разные виды растений, которые в совокупности улучшают экологическую ситуацию района и города в целом. Также по фасаду здания растет вьющийся плющ, представляющий собой вид вертикального озеленения городской среды [10].

Технологии, внедряемые для улучшения экологической ситуации рассматриваемой территории

Рассмотрим пример внедрения умных технологий в Октябрьском районе г. Ростов-на-Дону, ограниченного улицами: Таганрогская, Вавилова, Тимошенко, Оганова.

Исследуемый объект располагается в Октябрьском районе в г. Ростов-на-Дону, ограниченном улицами: Таганрогская, Вавилова, Тимошенко, Оганова, рядом с новым строящимся жилым комплексом бизнес-класса «Сокол», что соответствует правилам землепользования и застройки, т.к. земельный участок находится в зоне застройки многоэтажными домами, что продемонстрировано на рис. 2. Преобладающими покупателями новостроек являются молодые семьи, поэтому данный жилой комплекс необходимо обеспе-

чить дополнительным корпусом жилого дома этажностью 6 этажей и наличием 72-х квартир комфорт-класса. Предполагаемое количество жителей – 96 человек.



Кадастровый номер: 61:44:0080701:982
Категория земель: Земли населенных пунктов
Земельный участок по адресу: Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, Военный городок, № 51
Уточненная площадь: 4 399 кв.м.
Статус: Учтенный
Дата внесения в ЕГРН: 06.10.2014
Зона ПЗЗ города Ростов-на-Дону Зона застройки многоэтажными многоквартирными домами Ж-3/5/29

Рис. 2. Фрагмент карты правил землепользования и застройки (<https://geo-don.ru>)

Авторами исследований в области районирования по комфортности и формированию «зеленого» каркаса города (К. В. Чубарова, С. Г. Шеина, Л. В. Гирия) разработан инструментарий в виде ГИС-проекта и карты для территории Ростова-на Дону [11...12]. Согласно анализу данной карты рассматриваемый участок реконструкции находится в дискомфортной и опасной для здоровья зонах (рис. 3). Районирование по комфортности базируется на следующих критериях:

- 1) озеленение территории.
- 2) экологический риск.
- 3) суммарное загрязнение почв.

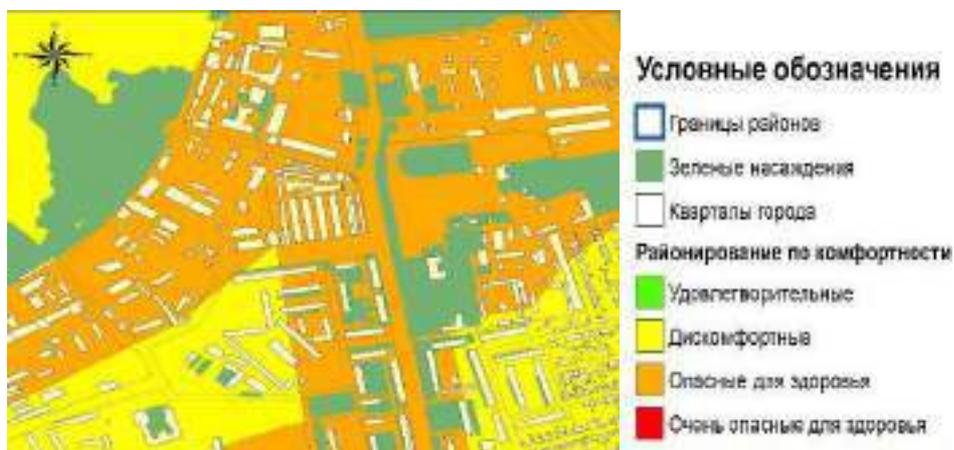


Рис. 3. Районирование по комфортности

Категория экологического риска для рассматриваемой территории – «опасная». Данные приведены на рис. 4. В рамках проведенного анализа выявлено, что несмотря на присутствие зеленых насаждений, экологическая оценка данного района характеризуется как опасная. Это вызвано ухудшением состояние атмосферы из-за больших выбросов рядом с главными улицами, на которых зафиксирована транспортная загруженность дорог.



Рис. 4. Схема расположения зон экологического риска

Суммарное загрязнение почв (рис. 5) характеризуется средним уровнем загрязнения почв, что может быть обусловлено несвоевременным вывозом отходов из мусорных баков, расположенных рядом с жилыми многоквартирными домами, обилие гаражей, которые предполагают большую концентрацию личных транспортных средств, что вызывает большое количество токсичных выбросов, наличие несанкционированных свалок из-за нехватки мусорных баков. Близость к предприятиям промышленного производства и объектам нового строительства также влияет на загрязнение почв.

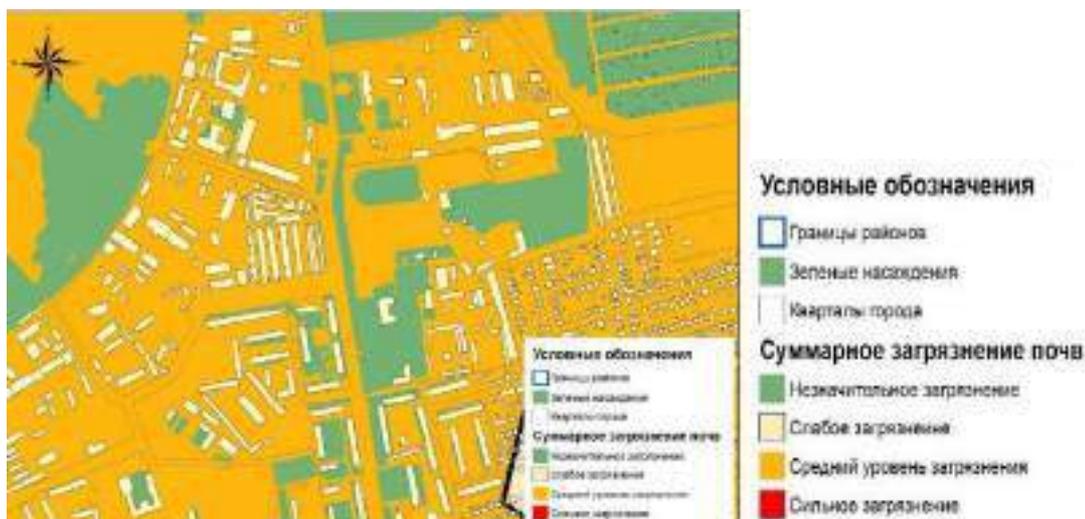


Рис. 5. Схема зонирования почв по уровню загрязненности

Таким образом, данная территория не соответствует понятиям экологичная и умная среда. Район находится в опасной для здоровья зоне, имеет ряд проблем, связанных с экологической ситуацией.

Для решения большинства экологических проблем и улучшения атмосферы, почв и комфортности рассматриваемой территории в условиях реконструкции городской застройки рекомендуется внедрять следующие технологии, для создания умной городской среды:

1) Умная утилизация отходов:

✓ установить датчики на мусорных баках, которые будут оповещать власти, когда они полны, что уменьшит проблему мусора, поможет сохранить ландшафт;

- ✓ ввести систему штрафов за несанкционированные свалки, которые являются большой проблемой;
- ✓ установить отдельные мусорные баки для сортировки стекла, пластика, бумаги и органических отходов.

2) Умное освещение:

- ✓ установить умное освещение, включающее в себя фонари, которые меняют яркость ламп в зависимости от времени суток;
- ✓ внедрение солнечных панелей для сокращения расходов на электроэнергию предпочтительно устанавливать небольшие, которые устанавливаются непосредственно на фонари с целью накопления экологически чистой электроэнергии для их работы вечером и ночью.

3) экологичный городской транспорт:

- ✓ внедрить автобусы на экологически чистом топливе
- ✓ провести работы по оснащению территории дополнительными трамвайными путями;

4) Умное видеонаблюдение.

Установить умное видеонаблюдение на территории по всему городу, чтобы следить за порядком каждого района. Данное решение поможет следить за соблюдением правил пользования мусорными баками, а также предотвращать создание несанкционированных свалок.

5) зеленая инфраструктура – как основа зеленого каркаса города.

В рамках концепции благоустройства общественных пространств - высадка деревьев и кустарников. Формирование благоприятного микроклимата и генерации чистого воздуха путем увеличения площади зеленых насаждений.

Перечень мероприятий для осуществления комплексной реконструкции городской застройки может быть дополнен следующими:

- ✓ для формирования зеленых зон – инвентаризация зеленых насаждений и дальнейший мониторинг и контроль их состояния;
- ✓ для снижения загрязнения почв: организация стока поверхностных вод, создание устойчивого дернового покрова многолетних трав (или кустарников) и восстановление растительного покрова в местах деградации почв [13].

Таким образом, рассмотренный Октябрьский район в г. Ростов-на-Дону, ограниченный улицами: Таганрогская, Вавилова, Тимошенко, Оганова, относится к опасной для здоровья зоне и имеет ряд проблем, связанных с экологической ситуацией. В связи с этим были предложены решения для создания умной городской среды [14, 15] такие как: установка датчиков переполненности баков, введение системы штрафов за несанкционированные свалки, установление баков для сортировки мусора, внедрение автобусов на экологически чистом топливе, внедрение умного видеонаблюдения, устройство озеленения территорию

Методика определения IQ городов

В рамках ведомственного проекта «Умный город» Минстроем России совместно с МГУ им. Ломоносова разработан Индекс цифровизации городского хозяйства «IQ городов». По причине того, что сравнение городов различной величины (большие и маленькие) не является объективным, все населенные пункты разбили на 4 группы и каждый город оценивается по 10 показателям. Числовая выраженность субиндексов варьируется в пределах от 1 до 12, при этом максимальная величина интегрированного индекса «IQ городов» достигает 120. По результатам расчета городу присваивается определенный показатель IQ города (рис. 6).



Рис. 6. Структура оценки IQ городов

Реализация представленной методики на уровне город – расчет эффективности применения умных технологий для территории г. Ростова-на-Дону

Для определения текущего IQ города Ростова-на-Дону были взяты данные с интерактивной карты «Умный город» на сайте «IQ город» – <https://russiasmartcity.ru/iq>. В результате чего было выявлено, что IQ города Ростова-на-Дону составляет 37,08 (рис. 7), что определяет город как технологически ориентированный.

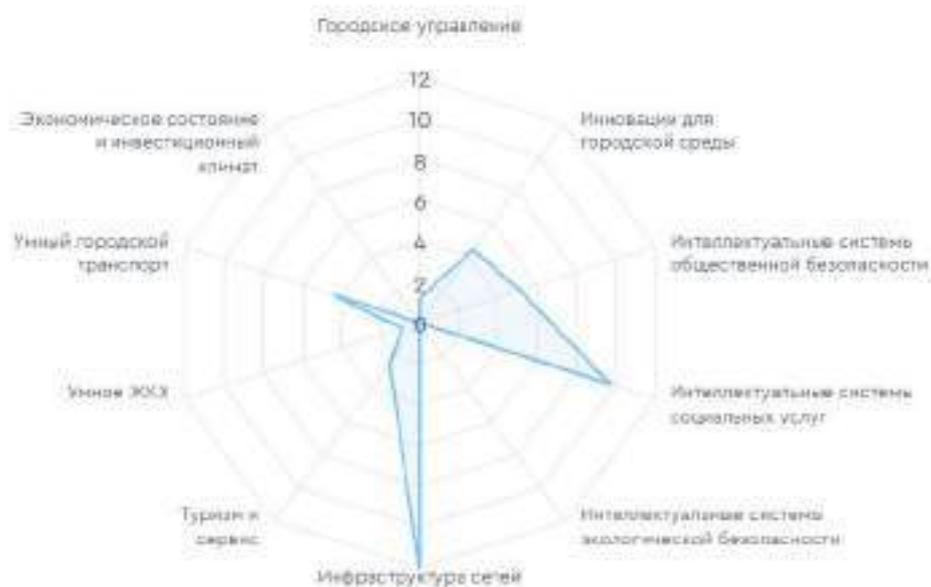


Рис. 7. Текущий IQ города Ростова-на-Дону

В таблице приведены показатели, по которым оценивается IQ города до и после внедрения умных технологий.

Показатели расчета *IQ* города

№ п/п	Наименование показателя	До внедрения умных технологий	После внедрения умных технологий
1	Городское управление	1	7
2	Умное ЖКХ	1	4,08
3	Инновации для городской среды	4,08	10
4	Умный городской транспорт	5	7
5	Интеллектуальные системы общественной безопасности	1	8
6	Интеллектуальные системы экологической безопасности	0	4
7	Туризм и сервис	3	3
8	Интеллектуальные системы социальных услуг	10	11
9	Экономическое состояние и инвестклимат	0	7
10	Инфраструктура сетей связи	12	12
	Итого	37,08	75,93
	Категория города по <i>IQ</i>	Технологически ориентированный	Высокотехнологичный управляемый

Исходя из расчетов была составлена круговая диаграмма (рис. 8) с показателями *IQ* города с учетом внедрения таких технологии, как умная утилизация отходов, умное освещение, экологичный общественный транспорт, умное видеонаблюдение и озеленение территорий.



Рис. 8. *IQ* города Ростова-на-Дону после внедрения умных технологий

В результате чего было выявлено, что *IQ* города Ростова-на-Дону может достигнуть 75,93, что позволит позиционировать город как высокотехнологичный управляемый.

Заключение.

Представлены основные тенденции развития умной городской среды и зеленых технологий. Обоснована их актуальность, в частности в направлении решения задач, связанных с улучшением экологического состояния городской застройки.

На примере жилого района г. Ростов-на-Дону проведена оценка основных показателей, по которым определяется комфортность и экологическая обстановка города, на основе которых рассматриваемый район отнесен к опасной для здоровья зоне и имеет ряд проблем, связанных с экологической ситуацией. В связи с этим были предложен ряд мероприятий для создания умной городской среды.

Представлены результаты оценки индекса цифровизации городского хозяйства для рассматриваемого района в исходном состоянии и с учетом внедрения технологий «умный город». Полученные результаты демонстрируют эффективность применения современных цифровых технологий для повышения уровня комфортности и экологической безопасности городов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Волкова, Т. Ф.** Методы реконструкции городской среды / Т. Ф. Волкова. – Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 4. – Ч. 5. – С. 22-27.
2. **Tetior, A. N.** Ways of eco-reconstruction and eco-restoration of cities / A. N. Tetior // *Sciences of Europe*. – 2018. – № 23(23). – Pp.10-15.
3. **Фоков, Р. И.** Экологическая реконструкция и оздоровление урбанизированной среды: монография / Р. И. Фоков. – Москва: Издательство АСВ, 2012. – 302 с.
4. **Данилина, Н. В.** Устойчивое развитие умных городов: образовательная деятельность в области градостроительства / Н. В. Данилина // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. – 2019. – № 3(27). – С. 36-43.
5. **Пахомов, Е. В.** Технологическая основа умного города / Е. В. Пахомов // *Инженерный вестник Дона*. – 2017. – № 3.
6. **Bovberg, J.** Today's Smart City Models. How to Build a Successful Smart City / J. Bovberg // *Questex Fierce Wireless*. – 2016. – Pp. 5-8.
7. Система индикаторов умного города как показатель развития городов в России / К. С. Петров, Е. С. Питык, А. Ю. Чернокнижникова, А. В. Шустова // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. – 2019. – № 7(1019). – С. 64-65.
8. **Dassani, N.** Dubai – a new paradigm for smart cities / N. Dassani, D. Nirwan, G. Narigharan, // *KPMG*. – 2015. – Pp. 36.
9. **Пахомов, Е. В.** Цифровые технологии умного города / Е. В. Пахомов // *Инженерный вестник Дона*. – 2017. – № 3.
10. **Саак, А. Э.** Модели информационно-технологической структуры умного города / А. Э. Саак, В. Н. Тюшняков, Е. В. Пахомов // *Фундаментальные исследования*. – 2017. – № 10. – С. 387-391.
11. **Гиря, Л. В.** Формирование современной городской среды путем реконструкции придомовых территорий многоквартирных домов / Л. В. Гиря, С. В. Хоренков, Е. С. Головатенко, Д. Г. Черкезия // *Инженерный вестник Дона*. – 2019. – № 3(54). – 43 с.
12. **Вагин, В. С.** Принципы и факторы устойчивого развития городских территорий / В. С. Вагин, С. Г. Шеина, К. В. Чубарова // *Инженерный вестник Дона*. – 2015. – Т. 7. – № 3(28).
13. **Шеина, С. Г.** Методическое и информационно-аналитическое сопровождение формирования комфортной среды при благоустройстве и озеленении застроенных территорий / С. Г. Шеина, К. В. Чубарова. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет. – 2021. – 155 с.
14. **Abu-Hammad, N.** Modern architectural approaches to smart cities and educational facilities / N. Abu-Hammad // *Architecture and Engineering*. – 2023. – Vol. 8. – № 3. – Pp. 3-13.
15. **Медведева, Л. С.** Использование цифровых технологий в системе муниципального управления / Л. С. Медведева // *Инновационные тренды в международном бизнесе и*

устойчивом менеджменте: Материалы III Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2024 – С. 185-193.

Поступила в редакцию 23 мая 2024

INTRODUCTION OF SMART TECHNOLOGY IN THE PROCESS OF COMPREHENSIVE URBAN DEVELOPMENT RECONSTRUCTION

A. A. Fedorovskaya, E. S. Kalaicheva, L. Y. Sarkisyan

Albina Akhmedovna Fedorovskaya, Candidate Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Urban Construction and Management, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, Junior Researcher, Scientific Research Institute of Engineering Physics Russian Academy of Architecture and Engineering Sciences, Moscow, Russia, tel.: +7(863)201-90-99; e-mail: bina-87@mail.ru

Ekaterina Sergeevna Kalaicheva, Bachelor of the Department of Urban Construction and Management, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, tel.: +7(863)201-90-99; e-mail: esskatena@mail.ru

Liliana Yurikovna Sarkisyan, Bachelor of the Department of Urban Construction and Management, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, tel.: +7(863)201-90-99; e-mail: korollilya@yandex.ru

The main goal of the presented article is to define the concept of integrated urban development reconstruction, taking into account the environmental aspect and the introduction of *smart city* technology. The object of the research is the technology used to create a *smart urban* environment. The first stage of the study is to analyze the experience of implementing technology to create a *smart* and *green* urban environment. The next stage is selection of possible options for the use of smart technology to improve the environmental situation of the Oktyabrsky district in the city of Rostov-on-Don. This area is bounded by the streets: Taganrogskaya, Vavilova, Timoshenko, Oganova. Then we carried out the analysis of the ecological situation of the selected reconstruction area. At the final stage, we calculated the IQ index of the city of Rostov-on-Don for the current state and after the introduction of *smart city* technology.

Keywords: smart city; reconstruction; comprehensive reconstruction; city; urban development; environmental risk; city development index; city IQ; smart technology.

REFERENCES

1. **Volkova T. F.** *Methods of urban environment reconstruction*. Modern scientific research and innovations. 2015. No. 4. Part 5. Pp. 22-27. (in Russian)
2. **Tetior A. N.** *Ways of eco-reconstruction and eco-restoration of cities*. Sciences of Europe. 2018. No. 23-1(23). Pp. 10-15.
3. **Fokov R. I.** *Ecological reconstruction and improvement of the urbanized environment: monograph*. Moscow, Publishing House of the DIA. 2012. 302 p. (in Russian)
4. **Danilina N. V.** *Sustainable development of smart cities: educational activities in the field of urban planning*. Biosphere compatibility: man, region, technologies. 2019. No. 3(27). Pp. 36-43. (in Russian)
5. **Pakhomov E. V.** *Technological basis of a smart city*. Engineering Bulletin of the Don. No. 3. 2017. (in Russian)
6. **Bovberg J.** *Today's Smart City Models. How to Build a Successful Smart City*. Questex Fierce Wireless. 2016. Pp. 5-8. (in Russian)
7. **Petrov K.S., Pityk E. S., Chernoknizhnikova A. Y., Shustova A.V.** *Smart city indicator system as an indicator of urban development in Russia*. BST: Bulletin of construction machinery. 2019. No. 7(1019). Pp. 64-65. (in Russian)
8. **Dassani N., Nirwan D., Hariharan G.** *Dubai is a new paradigm for smart cities*. KPMG. 2015. Pp. 36.

9. **Pakhomov E. V.** *Digital technologies of a smart city*. Engineering Bulletin of the Don. 2017. No. 3. (in Russian)
10. **Saak A. E., Tyushnyakov V. N., Pakhomov E. V.** *Models of the information technology structure of a smart city*. Fundamental research. 2017. No. 10. Pp. 387-391. (in Russian)
11. **Girya L. V., Khorenkov S. V., Golovatenko E. S., Cherkeziya D. G.** *Formation of a modern urban environment through the reconstruction of adjacent territories of apartment buildings*. Engineering Bulletin of the Don. 2019. No. 3(54). 43 p. (in Russian)
12. **Vagin V. S., Sheina S. G., Chubarova K. V.** *Principles and factors of sustainable development of urban areas*. Online journal of Science Studies. Engineering Bulletin of the Don. 2015. Vol. 7. No. 3(28). (in Russian)
13. **Sheina S. G., Chubarova K. V.** *Methodological and information-analytical support for the formation of a comfortable environment in landscaping and landscaping of built-up areas*. Rostov-on-Don: Don State Technical University. 2021. 155 p. (in Russian)
14. **Abu-Hammad N.** *Modern architectural approaches to smart cities and educational facilities*. Architecture and Engineering. 2023. Vol. 8. No. 3. Pp. 3-13.
15. **Medvedeva L. S.** *The use of digital technologies in the municipal management system*. Innovative trends in international business and sustainable management: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference. Rostov-on-Don. 2024. Pp. 185-193. (in Russian)

Received 23 May 2024

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Федоровская, А. А. Внедрение умных технологий в процесс комплексной реконструкции городской застройки / А. А. Федоровская, Е. С. Калайчева, Л. Ю. Саркисян // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 3(30). – С. 84-94. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.009.

FOR CITATION:

Fedorovskaya A. A., Kalaicheva E. S., Sarkisyan L. Y. *Introduction of smart technology in the process of comprehensive urban development reconstruction*. Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 3(30). Pp. 84-94. DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.009. (in Russian)

DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.010

УДК 502.757

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С КАШТАНОВОЙ МИНИРУЮЩЕЙ МОЛЬЮ (*CAMERARIA OHRIDELLA* D ESHKA ET DIMIC) НА ОБЪЕКТАХ ОЗЕЛЕНЕНИЯ Г. ОРЛА

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

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

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

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

Показано, что основной причиной повреждений и поражений городских зеленых насаждений являются инвазии. Каштановая минирующая моль является серьезной угрозой для насаждений из каштана. В Орловской области этот инвазийный вид, а также повреждения, которые он вызывает у каштана конского являются серьезной проблемой для региона последние 10-15 лет. Целью работы являлась оценка эффективности инсектицида Локустин для борьбы с каштановой минирующей молью (*Cameraria ohridella* Deshka et Dimic) на насаждениях из *Aesculus hippocastanum* L. на объектах ландшафтной архитектуры г. Орла: дендропарк Орловского ГАУ, Бульвар Победы. Способ использования – стволовые инъекции. Доза 5 мл на одно растение, количество обработок – однократно в фазе бутонизации (середина мая). Оценка поврежденности листьев конского каштана каштановой минирующей молью проводилась по шкале, разработанной С.А. Трибель и О.Н. Гамановой. Приведены результаты визуальной оценки состояния кроны и поврежденности листьев каштана конского после введения исследуемого препарата Локустин. Периодичность наблюдений 10 дней. Первые наблюдения проводились 20 июня 2023 года. Приведены результаты оценки жизненного состояния деревьев в дендропарке Орловского ГАУ и бульваре Победы, в результате которых установлена эффективность препарата Локустин, при использовании которого площадь повреждения листьев в 2,5 раза меньше, чем на контрольных экземплярах без обработки. Максимальный защитный эффект от применения препарата отмечен на ранних сроках вегетации (июнь).

Ключевые слова: объекты озеленения; каштановая минирующая моль; стволовая инъекция; *Aesculus hippocastanum* L.; *Cameraria ohridella* Deshka et Dimic.

В настоящий момент установлено, что основной причиной повреждений и поражений городских зеленых насаждений является инвазии. Занос чужеродных видов является одной из главных причин снижения биоразнообразия на планете. Негативные последствия появления таких видов характеризуют как «биологическое загрязнение» [1, 2]. Ярким примером инвазии является каштановая минирующая моль (*Cameraria ohridella* Deshka et Dimic), которую в 2003 году обнаружили в Калининградской области [3], 2009 году – в Ростовской области, в 2010 году – в городе Краснодар [4].

Каштановая минирующая моль является серьезной угрозой для насаждений из каштана. Личинки моли питаются листьями деревьев, что приводит к их усыханию и гибели. Для борьбы с данным вредителем используются методы защиты: химические, биологические и механические. Однако, полностью избавиться от вредителя пока не удалось. Поми-

мо каштановой минирующей моли, на территории России было отмечено еще несколько инвазий чужеродных видов. В частности, в последние годы в стране появились такие виды, как ясеневая изумрудная узкотелая златка, сибирский шелкопряд и восточная плодоярка. Эти виды также наносят значительный ущерб лесам, садам и сельскохозяйственным культурам. Инвазии чужеродных видов являются серьезной проблемой, которая требует принятия срочных мер. Необходимо усилить контроль, за ввозом и перемещением растений и животных, а также разрабатывать и внедрять новые методы борьбы с инвазивными видами.

В Орловской области этот инвазивный вид, а также повреждения, которые он вызывает у каштана конского являются, серьезной проблемой для региона последние 10...15 лет.

В настоящее время есть несколько подходов к борьбе с этим вредителем. Среди них – применение инсектицидов. Однако, в условиях города использование инсектицидов затруднительно, в связи с тем, что они относятся ко II классу опасности и представляют экологическую опасность (согласно ГОСТ 12.1.007-76). Метод их распыливания на крону требует многократного повторения лечения деревьев, трудоемок, экологически небезопасен и высокзатратен. Метод столовых инъекций, по мнению Г. Лобановского и В. Федоренко обладает высокой эффективностью и надёжно защищает деревья от каштановой минирующей моли в течение двух лет, при экологической безопасности для окружающей среды [5]. Другие ученые указывают на то, что инъектирование нарушает целостность тканей ствола дерева.

Настоящая работа направлена на изучение и оценку эффективности применения инсектицида «Локустин» для борьбы с каштановой минирующей молью (каштановый минер *Cameraria ohridella* Deshka et Dimic) на насаждениях *Aesculus hippocastanum* L. в условиях города Орла.

Cameraria ohridella Deshka et Dimic. относят к отряду Lepidoptera, к подотряду Microlepidoptera, семейству Gracellaridae, роду Cameraria. Самки бабочек в течение смены регенераций откладывают свои яйца сначала на нижних частях кроны, постепенно переходя в верхние ярусы кроны. Когда гусеницы вылупляются, они прогрызают эпидермис листа в месте, где яйцо было отложено, и проникают во внутренние слои, формируя полость, известную как «мина». Вначале мины имеют небольшие размеры и выглядят как бурые пятна. Гусеницы растут и питаются паренхимой листьев, их мины становятся больше и приобретают неопределенную форму. Зачастую эти структуры объединяются, образуя обширное коричневое пятно. Гусеницы выходят из мин и переходят на верхнюю поверхность листа. Там они начинают выедать ткань листа между жилками. Вскоре лист может быть полностью съеден. Гусеницы окукливаются в шелковый кокон, который они строят на нижней поверхности листа или на ветке. Куколки имеют коричневый или черный цвет и длину около 1 см. Через несколько недель из куколок выходят взрослые бабочки. [6].

Ввиду многочисленных поражений личинками каштановой минирующей моли листья конского каштана повреждаются, изменяют окраску сначала на пеструю, в конце сезона на бурую с последующим отмиранием. При повреждении листьев значительно сокращаются хлорофиллоносные органы, что нарушает метаболические процессы в жизни деревьев [6], что имеет последствия при перезимовке и их частичному или полному вымерзанию.

Локустин – инсектицид для уничтожения саранчовых, а также хвое- и листогрызущих насекомых. Препарат не имеет аналогов и получил пролонгированное действие на личиночную стадию.

В состав препарата «Локустин» входит два активных компонента:

✓ дифлуэнзурон блокирует процесс образования хитина у членистоногих, которые в процессе роста проводят линейные переходы между стадиями и переходят на следующую.

Вещество обладает ламвицидными свойствами, которые проявляются в момент выведения личинок из яиц. Вещество проникает в яичную скорлупу и препятствует выведению личинок, а также уничтожает минирующие насекомые, которые проникают под яичную оболочку. Эффект намного выше, когда яйца откладываются на обработанный препаратом лист, чем в том случае, если бы листья были обработаны после откладывания.

✓ имидаклоприд обладает контактным и желудочно-кишечным действием. Блокирует белки-рецепторы, которые отвечают за передачу нервного импульса в центральной нервной системе. При попадании в организм вредитель не может двигаться, отказывается от пищи и умирает через сутки.

Способ использования – ствольные инъекции. Доза 5 мл на одно растение, количество обработок – однократно в фазе бутонизации (середина мая).

Объекты изучения – насаждения каштана конского обыкновенного дендропарка Орловского ГАУ, Бульвар Победы (табл. 1).

Таблица 1

Объекты исследования насаждений каштана конского обыкновенного

Объект	Краткая характеристика	Число, экз.
Дендропарк Орловского ГАУ	Адрес: г. Орел, ул. Генерала Родина, 69. Площадь – 8 га.	159
Бульвар Победы	Адрес: г. Орел, Бульвар Победы. Протяженность 400 м.	66

Оценка кроны и поврежденности листьев каштана проводилась визуально по шкале разработанной С. А. Трибель и О. Н. Гамановой [7] с периодичностью 10 дней. Первая дата наблюдений 20 июня 2023 года.

Шкала оценки поврежденности листьев конского каштана каштановой минирующей молью определяется степенью поврежденности листьев: 1 балл – отсутствует или едва заметна (охваченная минами площадь листовой поверхности < 3 %); 2...3 балла – слабая (3-5%); 4...5 баллов – средняя (6...25 %); 6...7 баллов – сильная (26...50 %); 8...9 баллов – очень сильная (51...75 %).

Как показали исследования оценки эффективности препарата, действие применяемого инсектицидного средства различное на объектах исследования.

Оценка жизненного состояния деревьев показала в дендропарке Орловского ГАУ и бульваре Победы зафиксировано значительное количество поврежденных растений (73 % и 85 % соответственно). На всех исследуемых объектах отсутствуют полностью здоровые или погибшие растения каштана конского.

В дендропарке Орловского ГАУ возраст деревьев каштана около 25 лет. Каштаны подвергаются регулярной обрезке кроны, поэтому вредителю затруднен полный цикл развития на листьях, в результате чего степень поражения листьев снижается [8, 9, 10].

На бульваре Победы более возрастные деревья каштанов по состоянию оцениваются удовлетворительно, жизнеспособность деревьев ниже в сравнении с посадками деревьев дендропарка Орловского ГАУ.

Как показали исследования, на изученных объектах озеленения в городе Орле практически все деревья каштана конского поражены минирующей каштановой молью (табл. 2).

Данные табл. 2 показывают эффективность влияния препарата Локустин на состояние листового покрова растений каштана. Наибольшее различие от контрольных деревьев без обработки установлено на ранних сроках вегетации (июнь). При этом на более молодых деревьях дендропарка Орловского ГАУ разница в баллах оценки повреждаемости листьев больше в сравнении с контрольным вариантом, так степень поврежденности листьев на дату 20.06 на деревьях, обработанных Локустином, в 2,5 раза меньше, чем на не обработанных деревьях. Поврежденная вредителем площадь листовой поверхности у

контрольных деревьев уже на указанную дату составляла около 40 % , на обработанных деревьях степень повреждения была около 20 %. На взрослых растениях бульвара Победы степень поврежденности листьев была выше на 1 балл, как в опытном, так и контрольном варианте.

Таблица 2

Оценка действия препарата Локустин на поврежденность листьев конского каштана каштановой минирующей молью

Объект	Сроки наблюдений				
	20.06.	30.06	10.07	20.07	30.07
Дендропарк Орловского ГАУ	<u>2,8</u>	<u>4,6</u>	<u>5,1</u>	<u>5,8</u>	<u>7,9</u>
	6,7*	8,8	9,0	9,0	9,0
Бульвар Победы	<u>3,8</u>	<u>4,2</u>	<u>5,2</u>	<u>6,3</u>	<u>7,8</u>
	7,3	9,1	9,0	9,0	9,0

Примечание: * – контроль

В следующий период наблюдения 30.06 охваченная минами площадь листовой поверхности у обработанных деревьев повысилась до 30 %, балльная оценка составила 4,6, что выше предыдущей даты наблюдений в 1,6 раза. В контрольном варианте степень повреждения в 1,2 раза больше предыдущей.

а)



20.06

б)



а)



30.07

б)



Степень повреждения листьев каштана конского (Дендропарк Орловского ГАУ):
а) – обработка Локустином; б) без обработки

После окончания цветения, начиная с фазы завязи плодов, динамика повреждаемости листьев выравнивается на объектах наблюдения, балльная оценка не превышает разницы в 0,5 балла, поэтому с увеличением распространения популяции минирующей моли на дереве возраст растений перестает быть значимым фактором.

На 20.07 и 30.07. степень повреждения листьев у опытных вариантов была ниже на 25 %, чем у контрольных экземпляров (рисунок). Балльная оценка ниже на 1,5...3 балла.

Заключение.

Проведенные исследования по оценке жизненного состояния деревьев показали, что в дендропарке Орловского ГАУ и бульваре Победы зафиксировано значительное количество поврежденных растений (73 % и 85 % соответственно). На всех исследуемых объектах отсутствуют полностью здоровые или погибшие растения каштана конского. На бульваре Победы более возрастные деревья по состоянию оцениваются удовлетворительно, жизнеспособность деревьев ниже в сравнении с посадками деревьев дендропарка Орловского ГАУ.

Установлена эффективность препарата Локустин на состояние листового покрова растений каштана. Наибольшее различие от контрольных деревьев отмечено на ранних сроках вегетации (июнь). В сравнении с контрольным вариантом степень поврежденности листьев на деревьях, обработанных Локустином достигает 2,5 раза меньших показателей поврежденной листовой площади, чем на контрольных деревьях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Elliott M.** Biological pollutants and biological pollution – an increasing cause for concern // *Marine Pollution Bull.* 2003. Vol. 46. Pp. 275-280.
2. **Гниненко, Ю. И.** Новые фитофаги и болезни древесных пород / Ю. И. Гниненко, С. В. Шепелев // *Лесное хозяйство.* – 2004. – № 3. – С. 48.
3. **Гниненко, Ю. И.** Новые инвазивные насекомые в лесах и озеленительных посадках Краснодарского края / Ю. И. Гниненко, В. В. Костюков, О. В. Кошелева // *Защита и карантин растений.* – 2011. – № 4. – С. 49-50.
4. **Голосова, М. А.** Каштановый минер *Cameraria ohridella* - опасный карантинный вредитель на объектах городского озеленения / М. А. Голосова, Ю. И. Гниненко, Е. И. Голосова. – Москва: ВПРС МОББ, МГУЛ, ВНИИЛМ, 2008. – 26 с.
5. Особенности развития каштановой минирующей моли *Camararia ohridella* Deschk & Dimic в условиях Донецкой степи / Т. П. Кузьминская, А. И. Торба, В. А. Ковалено, А. В. Кузьминский // *Вестник Донского государственного аграрного университета.* – 2016. – № 2-1(20). – С. 53-60.
6. **Воронцов, А. И.** Технология защиты леса / А. И. Воронцов, Е. Г. Мозолевская, Э. С. Соколова. – Москва: Экология, 1991. – 304 с.
7. **Трибель, С. А.** Мониторинг каштановой минирующей моли / С. А. Трибель, О. Н. Гаманова // *Защита и карантин растений.* – 2009. – № 2. – С. 45-47.
8. **Золотарева, Е. В.** Видовой состав и состояние древесных интродуцентов в насаждениях г. Орла / Е. В. Золотарева, Е. Н. Самошкин // *Лесной журнал.* – 2012. – № 3. – С. 41-45.
9. **Киселева, Л. Л.** Видовой состав и устойчивость древесных насаждений как основа экологического благополучия урбанизированной среды (на примере города Орла) / Л. Л. Киселева, Е. А. Парахина, Ж. Г. Силаева // *Известия Самарского научного центра РАН.* – Т.18. – № 2(3). – 2016. – С. 702-706.
10. **Якушина, Э. И.** Древесные растения в озеленении Москвы / Э. И. Якушина. – Москва: Наука, 1992. – 158 с.

Поступила в редакцию 29 мая 2024

**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF METHODS
FOR COMBATING CHESTNUT LEAF MINERS (*CAMERARIA OHRIDELLA*
DESHKA ET DIMIC) AT LANDSCAPING FACILITIES IN THE CITY OF OREL**

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

Nina Alexandrovna Shiryaeva, Cand. Sc. (Agricult.), Associate Professor at the Department of landscape architecture, Orel State Agrarian University named after N. V. Parakhin, Orel, Russia, tel.: +7(953)617-54-21; e-mail: nina_pril@mail.ru

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

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

Currently, it has been shown that the main cause of damage of urban green spaces is invasion. The chestnut leaf miner is a serious threat to chestnut vegetation. In the Orel region, this invasive species, as well as the damage it causes to horse chestnut, have been a serious problem for the region for the last 10...15 years. The aim of the work was to evaluate the effectiveness of the *Locustin* insecticide for the control of chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deshka et Dimic) on plantations of *Aesculus hippocastanum* L. at the facilities of landscape architecture in the city of Orel, namely in the arboretum of the Orel State Agrarian University, Pobedy blvd. The method of use is stem injections. The dose is 5 ml per plant, the number of treatments is once in the budding phase (mid-May). The assessment of damage to the leaves of horse chestnut by chestnut leaf miner was carried out on a scale developed by S.A. Tribel and O.N. Gamanova. The plantings were assessed visually, according to the condition of the crown and the damage to the leaves of the horse chestnut. The frequency of observations is 10 days. The first observations were made on June 20, 2023. We present the results of the assessment of the vital condition of trees in the arboretum of the Orel State Agrarian University and Pobedy blvd. In a result, the effectiveness of the *Locustin* insecticide was established, when the area of leaf damage was 2.5 times less than on control specimens without treatment. The maximum protective effect from the use of the insecticide was noted in the early stages of vegetation (June).

Keywords: landscaping facilities; chestnut leaf miner; stem injection; *Aesculus hippocastanum* L.; *Cameraria ohridella* Deshka et Dimic.

REFERENCES

1. **Elliott M.** *Biological pollutants and biological pollution – an increasing cause for concern.* Marine Pollution Bull. 2003. Vol. 46. Pp. 275-280.
2. **Gninenko Yu. I., Shepelev S. V.** *New phytophages and diseases of tree species.* Forestry. 2004. No. 3. Pp. 48. (in Russian)
3. **Gninenko Yu. I., Kostyukov V. V., Kosheleva O. V.** *Invasive insects in forests and landscaping plantings of the Krasnodar Territory.* Protection and quarantine of plants. 2011. No. 4. Pp. 49-50. (in Russian)
4. **Golosova M. A., Gninenko Yu. I., Golosova E. I.** *Chestnut miner *Cameraria ohridella* is a dangerous quarantine pest at urban landscaping facilities.* Moscow, VPRS MOBB, MGUL, VNIILM. 2008. 6 p. (in Russian)
5. **Kuzminskaya T. P., Torba A. I., Kovaleno V. A., Kuzminsky A. V.** *Features of the development of the chestnut mining moth *Camararia ohridella* Deschk & Dimic in the conditions*

of the Donetsk steppe. Bulletin of the Don State Agrarian University. 2016. No. 2-1(20). Pp. 53-60. (in Russian)

6. **Vorontsov A. I., Mozolevskaya E. G., Sokolova E. S.** *Technology of forest protection*. Moscow, Ecology. 1991. 304 p. (in Russian)

7. **Tribel S. A., Gamanova O. N.** *Monitoring of chestnut mining moth*. Protection and quarantine of plants. 2009. No. 2. Pp. 45-47. (in Russian)

8. **Zolotareva E. V., Samoshkin E. N.** *Species composition and condition of tree introducents in the plantations of Orel*. Lesnoy zhurnal. 2012. No. 3. Pp. 41-45. (in Russian)

9. **Kiseleva L. L., Parakhina E. A., Silaeva Zh. G.** *Species composition and sustainability of tree plantations as the basis for the ecological well-being of an urbanized environment (on the example of the city of Orel)*. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2016. No. 18. 2(3). Pp. 702-706. (in Russian)

10. **Yakushina E. I.** *Woody plants in the landscaping of Moscow*. Moscow, Nauka publishing house. 1992. 158 p. (in Russian)

Received 29 May 2024

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Ширяева, Н. А. Оценка эффективности методов борьбы с каштановой минирующей молью (*cameraria ohridella d eshka et dimic*) на объектах озеленения г. Орла / Н. А. Ширяева, Е. А. Коренькова, Ж. Г. Силаева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 3(30). – С. 95-101. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.010.

FOR CITATION:

Shiryayeva N. A., Korenkova E. A., Silaeva Zh. G. *Evaluation of the effectiveness of methods for combating chestnut leaf miners (cameraria ohridella deshka et dimic) at landscaping facilities in the city of Orel*. Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 3(30). Pp. 95-101. DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.010. (in Russian)

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

DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.011

УДК 551.558

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВОСТИ АТМОСФЕРЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ РУССКОЙ РАВНИНЫ

Л. М. Акимов, Е. Л. Акимов

Акимов Леонид Мусамудинович, канд. геогр. наук, доцент, заведующий кафедрой природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация, тел. +7(951)850-49-82, +7(473)266-56-54; e-mail: akl63@bk.ru

Акимов Евгений Леонидович, канд. геогр. наук, доцент кафедры природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Российская Федерация Воронеж, Российская Федерация, тел. +7(473)266-56-54; e-mail: akl63@bk.ru

Приведено описание пространственно-временных особенностей основных факторов, определяющих рассеивание примесей в атмосфере на территории центральной части Русской равнины. Методы исследования основываются на геоинформационном методе анализа данных температурно-ветрового зондирования атмосферы аэрологических станций, располагаемых в центральной части Русской равнины. Установлены пространственно-временные закономерности распределения слабых (штилевых) ветров (0...1 м/с), а также приземных и приподнятых инверсий в холодный и теплый периоды и за год в целом. Доказана доминирующая роль циркуляции атмосферы в пространственно-временных закономерностях распределения основных факторов рассеивания поллютантов в атмосфере, а также существенное влияние физико-географических характеристик территории. В течение года на западе центральной части Русской равнины вероятность образования приземной инверсии колеблется от 30...35 %, что обусловлено радиационным выхолаживанием подстилающей поверхности. На востоке центральной части Русской равнины вероятность образования приземной инверсии достигает до 40...45 % из-за влияния Сибирского антициклона зимой. Преобладание устойчивого состояния атмосферы с частыми инверсиями наблюдается в зимний период.

Ключевые слова: устойчивость атмосферы; инверсия; стратификация атмосферы; распределение ветра; метеорологические условия.

Атмосфера, состоящая из механической смеси газов, и ее чистота — необходимое условие сохранения здоровья людей, она является одной из основных систем окружающей среды. Поэтому проблемы, связанные с загрязнением атмосферного воздуха, актуальны в глобальном, мировом масштабе и в значительной степени согласуются с национальным интересом Российской Федерации в оздоровлении экологической обстановки.

Проблема загрязнения атмосферного воздуха городов усиливается в настоящее время тенденцией урбанизации общества, следовательно, большой концентрации населения на единицу площади и влиянию негативных условий от примесей на большое количество населения проживающего в городах.

Поэтому исследованию проблемы загрязнения атмосферного воздуха и изучению законов распространения примесей в нем, уделяется все большее внимание. Разработан национальный проект «Экология», в рамках которого утвержден федеральный проект «Чистый воздух», провозглашающие уменьшение совокупного объема выбросов загрязня-

ющих веществ в атмосферный воздух, в наиболее загрязненных городах, не менее чем на 20 %.

Для реализации перечисленных экологических проектов направлены научные исследования по выявлению антропогенных и природных факторов способствующих повышению концентрации поллютантов в атмосфере. К наиболее значимым природным факторам, влияющим на интенсивное загрязнение воздуха, относятся аномальные неблагоприятные метеорологические условия. Установлено, что наибольшее влияние на рассеивание примесей в атмосфере оказывает режим ветра и температуры, в особенности ее стратификация [1...3].

Изучению данного вопроса посвящено большое количество исследований как российских, так и зарубежных ученых. В частности установлено, что при низких источниках выбросов повышенный уровень загрязнения воздуха отмечается при слабых (штилевых) ветрах (0...1 м/с) за счет скопления примесей в приземном слое. Безуглой Э.Ю. установлено, что при слабом (штилевом) ветре со скоростью 0...1 м/с концентрация примесей на 30...70 % выше, чем при других скоростях [4...6]. При наличии штилевого слоя от поверхности земли до уровня 30 м максимальная концентрация примеси от источника высотой 100...150 м увеличивается примерно на 80 % по сравнению с концентрацией при отсутствии штиля [7, 8, 10].

По результатам исследований ряда авторов [3, 6, 7...10] установлено, что в случае площадных источников при инверсиях концентрации загрязняющих веществ могут увеличиться в 5...10 раз по сравнению с их значениями в отсутствие инверсий. Поэтому в городе при инверсии наблюдается заметное увеличение концентраций примесей в воздухе. В работах [1...3] изучены механизмы влияния метеорологических параметров и состояние устойчивости атмосферы, на концентрацию поллютантов в воздухе и оценены их прогностические возможности.

Выбросы вредных веществ источниками загрязнения носят неоднородный характер, с кратковременным их увеличением в отдельные периоды времени, формируя фон антропогенных загрязнений атмосферы. Увеличение выбросов при неблагоприятных климатических условиях для их рассеивания способствует формированию повышенного среднего уровня загрязнения и создает сложную экологическую ситуацию на территории. При этом существенное влияние на формирование уровня загрязненности атмосферного воздуха оказывают физико-географические характеристики территории, особенно формы рельефа, ландшафт, а также циркуляция атмосферы.

Учитывая тот факт, что климатические и антропогенные факторы формирующие уровень загрязнения атмосферного воздуха подвержены временным изменениям, возникает потребность постоянного изучения их формирования и распространения.

Целью данной статьи является исследование пространственно-временных условий распределения слабого (штилевого) ветра (0...1 м/с), а также приземных и приподнятых инверсий, в различные сезоны года в центральной части Русской равнины.

В настоящее время, наиболее перспективным подходом для предотвращения повышенных уровней загрязнения атмосферного воздуха является разработка методов их краткосрочного прогноза. Существуют различные подходы. Наиболее перспективными являются методы, выполняемые с учетом особенностей физико-географического района, с использованием климатологической информации о повторяемости неблагоприятных условий для рассеивания веществ в атмосфере.

К основным факторам, определяющим рассеивание примесей, относится стратификация атмосферы, характеризующая распределение температуры с высотой и оцениваемая вертикальным температурным градиентом γ на каждые 100 метров высоты, по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta T}{\Delta z} = \frac{T_2 - T_1}{z_2 - z_1} 100,$$

где T_2 и T_1 – температура воздуха, °С, на уровне высоты z_2 и z_1 , м, соответственно; 100 – коэффициент перевода в стандартное значение

В случае если γ отрицательное ($\gamma < 0$) наблюдается понижение температуры с высотой, такое состояние атмосферы называется конвекцией. В случае если $\gamma = 0$, наблюдается изотермия, при положительных значениях вертикального градиента температуры ($\gamma > 0$) наблюдается инверсия температуры, (т. е. наблюдается повышение температуры воздуха с высотой). Если повышение температуры начинается непосредственно от поверхности земли, инверсию называют приземной, если же с некоторой высоты над поверхностью земли, то – приподнятой. Инверсии затрудняют вертикальный воздухообмен и формируют задерживающий слой атмосферы, при этом в приземном слое атмосферы создаются опасные условия загрязнения, так как инверсионный слой ограничивает подъем выбросов и способствует их накоплению в приземном слое.

Безуглая Э.Ю. в работе [6] представила результаты анализа влияния инверсий на концентрацию в воздухе пыли, сажи, окислов азота, окиси углерода и сернистого газа по данным наблюдений в ряде городов. Установлено, что инверсии температуры в нижней тропосфере определяются в основном двумя факторами: охлаждением земной поверхности вследствие радиационного излучения и адвекцией теплого воздуха на холодную подстилающую поверхность. Часто это связано с охлаждением приземного слоя за счет затрат тепла на испарение воды или таяние снега и льда [5]. Формированию инверсий способствуют также нисходящие движения в антициклонах (инверсии сжатия) и сток холодного воздуха в пониженные части рельефа.

Основным материалом для получения климатических характеристик явились результаты температурно-ветрового зондирования атмосферы 18 аэрологических станций за 50-летний период с 1973 по 2023 гг. Данные передаются ежедневно, в сроки 00.00 и 12.00 часов, в коде КН – 04 (FN-35) и размещены на сайте Гидрометцентра России (<http://meteoinfo.ru>). Для изучения режима слабых (штилевых) ветров были использованы данные о повторяемости ветра скоростью 0...1 м/с у поверхности земли по данным аэрологических станций.

Слабые (штилевые) ветры (0...1 м/с) за счет турбулентного перемешивания, обусловленного разностью плотности неоднородно прогретого воздуха, оказывают наиболее существенное влияние на перенос и рассеивание примесей в атмосфере.

При рассмотрении вопроса формирования полей слабых ветров (0...1 м/с) важную роль играет горизонтальный барический градиент, определяемый как синоптической ситуацией, так и плотностью воздуха зависящего от температуры. Наиболее благоприятная синоптическая ситуация способствующая формированию полей слабых ветров (0...1 м/с) наблюдается в центре антициклона, либо на оси гребня, а также в седловине, где наблюдается большое расстояние между изобарами. С увеличением температуры воздуха, при прочих неизменных условиях, согласно уравнению состояния атмосферы, плотность воздуха уменьшается, что влечет уменьшение силы барического градиента, следовательно, повторяемость слабых ветров летом выше, чем зимой, т.е. наблюдается выраженный годовой ход с максимумом летом и минимумом – зимой. Проведенный анализ позволил установить, что наибольшая повторяемость слабых ветров (0...1 м/с) в Воронеже наблюдается в августе и обусловлена «наложением» двух факторов – термического и циркуляционного. Пространственное распределение многолетней (1973...2023 гг.) повторяемости слабых ветров (0...1 м/с) за год на территории центральной части Русской равнины представлено на рис. 1.

Анализ рис. 1 позволил установить увеличение повторяемости слабых ветров на территории центральной части Русской равнины с северо-востока (Казань – 14 %, Самара – 14 %, Пенза – 15 %) на юго-запад (Харьков – 21 %, Брянск – 22 %), что объясняется влиянием циркуляционного фактора на территории в летний период. Зимой на исследуемой территории повторяемость слабых ветров (0...1 м/с) невелика, т.к. восточная часть

находится под влиянием Сибирского антициклона, а с юго-запада на него оказывают воздействие «черноморские» циклоны, что способствует увеличению горизонтальных барических градиентов и усилению скорости ветра. Летом на месте деятельности Сибирского антициклона происходит смена знака циркуляции и формирование Азиатского минимума. Восточная часть Русской равнины оказывается под влиянием его тыловой части, способствующей проникновению холодных ветров с севера и усилению интенсивности вертикальных движений ветра, т.е. «неустойчивости» атмосферы и разрушению условий формирования инверсий. Юго-западная часть территории центральной части Русской равнины находится под воздействием гребня Азорского антициклона. Усиление влияния Азорского антициклона наблюдается в основном в середине июля – августе, что приводит к увеличению повторяемости слабых (штилевых) ветров. Годовая повторяемость слабых (штилевых) ветров (0...1 м/с) за период с 1973 по 2023 гг. в большей части территории центральной части Русской равнины находится в пределах 17...19 %.

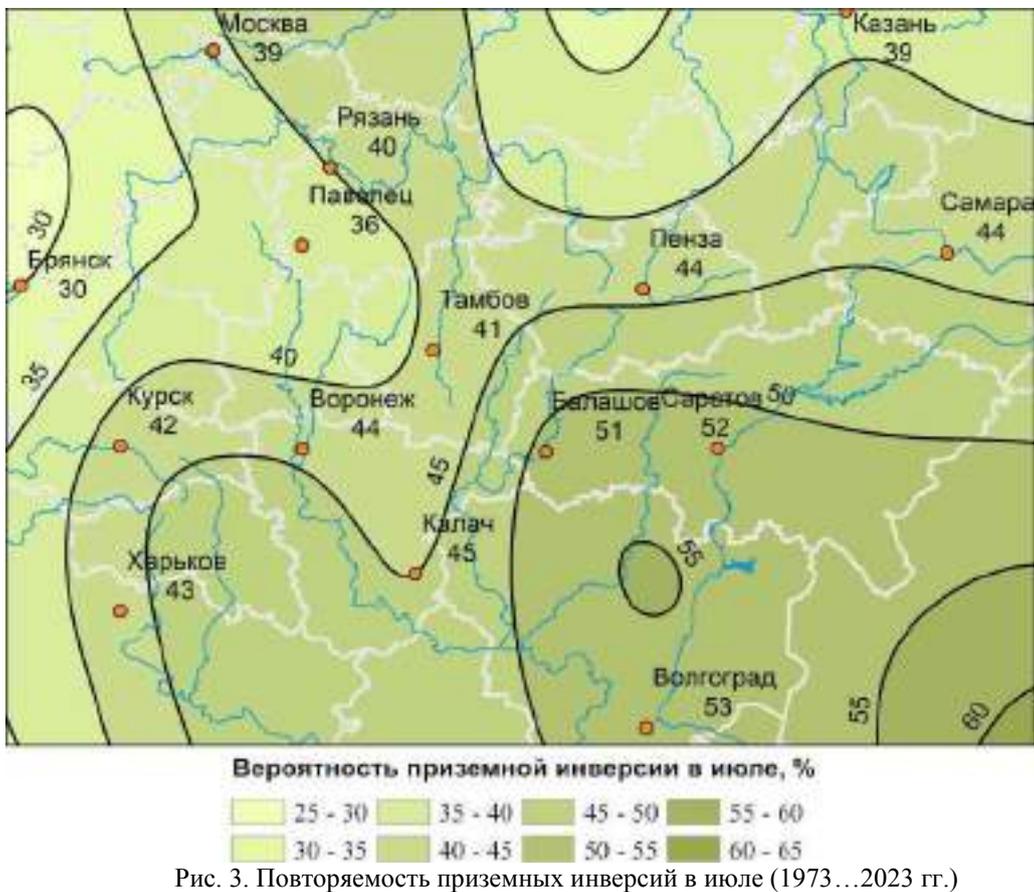
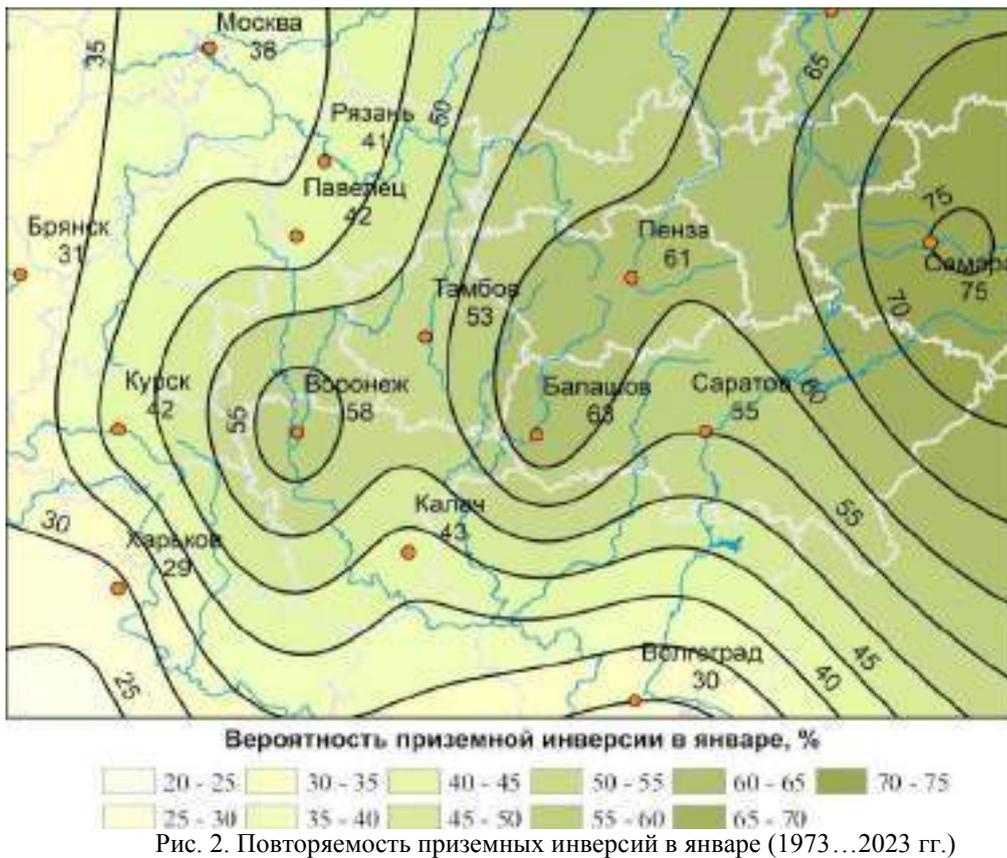


Рис. 1. Повторяемость слабых ветров (0...1 м/с) за год (1973...2023 гг.)

Повторяемость инверсий рассчитана в процентах от общего числа радиозондовых наблюдений, для каждой аэрологической станции центральной части Русской равнины по всем срокам наблюдения за период с 1973 по 2023 гг. Анализ проводился отдельно для теплого и холодного периодов по центральным месяцам сезонов, а также в целом за год.

Результаты анализа повторяемости приземной инверсии за январь представлены на рис. 2., из которого видно, что доминирующее влияние на формирование приземных инверсий в январе на территории центральной части Русской равнины оказывает Сибирский антициклон. Влияние Сибирского антициклона простирается в широтном направлении, с востока на запад на тысячу километров от Самары (75 %), Балашова (65 %) до Воронежа (58 %). Станции, расположенные западнее Воронежа (Курск – 42 %) находятся под динамическим влиянием воздуха с Атлантики, способствующего усилению скорости ветра и разрушению инверсий. Выход «черноморских» циклонов на юге также способствует усилению барического градиента, усилению ветра и разрушению инверсий. В среднем вероятность приземных инверсий на западе (Брянск – 31 %) и на юге Русской равнины (Волгоград – 30 %) составляет 25...30 %.

Результаты анализа повторяемости приземных инверсий в летний период представлены на рис. 3.



Анализ рис. 3 позволил установить, что большая часть территории центральной части Русской равнины летом находится под действием умеренной воздушной массы с Атлантики. Образование приземных инверсий летом, в западной и северной части рассматриваемой территории, происходит за счет радиационного выхолаживания подстилающей поверхности. Вероятность образования приземных инверсий в этой части территории Русской равнины составляет 30...40 % (Брянск – 30 %, Рязань – 40 %, Москва – 39 %, Казань – 39 %). Ось гребня Азорского антициклона, оказывающего серьезное влияние на юго-восточные районы Русской равнины, расположена в квазимеридиональном направлении по линии Астрахань (60 %), Волгоград (53 %), Балашов (51 %). Гребень Азорского антициклона способствует формированию «инверсий сжатия» за счет адиабатического нагрева опускающегося воздуха.

Средняя многолетняя (1973...2023 гг.) повторяемость приземных инверсий за год представлена на рис. 4.



Рис. 4. Повторяемость приземных инверсий за год (1973...2023 гг.)

На годовое распределение повторяемости приземных инверсий сказывается влияние как зимних (Сибирский антициклон), так и летних (гребень Азорского антициклона) факторов, с доминированием условий зимнего периода. Распределение вероятности образования приземной инверсии делит территорию Русской равнины пополам по линии Калач – Тамбов – Рязань. Западнее этой линии вероятность приземной инверсии за год составляет 36...38 % (Воронеж (37 %), Брянск (36 %), Харьков (39 %)), восточнее – Балашов (41 %), Самара (45 %), Казань (43 %).

Существенное значение на уровень загрязнения атмосферного воздуха оказывает приподнятая инверсия. М. Е. Берлянд [7] отмечал существенное влияние приподнятых инверсий на отклонения в распределении коэффициента обмена с высотой. В случае наличия приподнятой инверсии резко ослабевает обмен с высотой. Наличие задерживающего слоя с ослабленной турбулентностью над одиночным источником приводит к увеличению наземной концентрации в 1,5...2 раза, а иногда и больше. R. R. Dickson [10] при на-

блюдении за пульсациям и ветра с высотой отмечал, что в инверсионных слоях резко ослабляется турбулентный обмен.

Следует отметить, что механизм образования приподнятых инверсий разнообразен. Приподнятые инверсии могут возникнуть вследствие разрушения приземных инверсий, в случае прогрева подстилающей поверхности. Также большой вклад в повторяемость приподнятых инверсий вносят «инверсии сжатия», образующиеся на некоторой высоте от поверхности земли. Наибольшую повторяемость имеют приподнятые инверсии, связанные с адвекцией тепла, особенно на линии теплого фронта.

Анализ повторяемости приподнятой инверсии осуществлялся до уровня высоты изобарической поверхности Ат-925 гПа, что в среднем соответствовало начальной высоте слоя выше поверхности земли до 650...750 м, в соответствии с требованиями «Руководства по прогнозу загрязнения воздуха РД 52.04.306-92».

Результаты анализа повторяемости приподнятых инверсий в зимний период представлены на рис. 5.



Рис. 5. Повторяемость приподнятых инверсий в январе (1973...2023 гг.)

Пространственное распределение приподнятых инверсий в январе, представленное на рис. 5, хорошо отображает траекторию и ареал влияния «черноморских» циклонов на территорию центральной части Русской равнины находящуюся под влиянием восточной периферии Сибирского антициклона. Вероятность появления приподнятой инверсии в центральной части рассматриваемой территории составляет 41...45 %, в то время как в районе действия Сибирского антициклона (Самара) она уменьшается до 31 %, что свидетельствует об интенсивных нисходящих движениях воздуха, способствующих образованию приземных инверсий.

Летом вероятность появления приподнятых инверсий на территории центральной части Русской равнины распределено более равномерно и находится в пределах 6...9 % (рис. 6). Наибольшая повторяемость приподнятых инверсий наблюдается на северо-

востоке исследуемой территории, что совпадает с траекторией циклонов умеренных широт в летнее время.



Рис. 6. Повторяемость приподнятых инверсий в июле (1973...2023 гг.)

Заключение.

Проведенный анализ позволил установить, что наибольшая повторяемость слабых (штилевых) ветров (0...1 м/с) в центральной части Русской равнины обусловлена «наложением» двух факторов – термическим и циркуляционным. Летом, с увеличением температуры воздуха, плотность воздуха уменьшается, что влечет уменьшение силы барического градиента, следовательно, повторяемость слабых ветров летом выше, чем зимой. Доминирующим фактором в формировании полей слабых (штилевых) ветров (0...1 м/с) в центральной части Русской равнины принадлежит циркуляции атмосферы.

Зимой на исследуемой территории повторяемость слабых ветров (0...1 м/с) невелика. Летом юг территории центральной части Русской равнины находится под воздействием гребня Азорского антициклона, что приводит к увеличению повторяемости слабых (штилевых) ветров. Годовая повторяемость слабых (штилевых) ветров (0...1 м/с) за период с 1973 по 2023 гг. в большей части территории центральной части Русской равнины находится в пределах 17...19 %.

Образование приземных инверсий летом, в западной и северной части территории Русской равнины, происходит за счет радиационного выхолаживания подстилающей поверхности. Гребень Азорского антициклона способствует формированию «инверсий сжатия» за счет адиабатического нагрева опускающегося воздуха.

В течение года, в западе центральной части Русской равнины, за счет радиационного выхолаживания подстилающей поверхности, вероятность образования приземной инверсии колеблется от 30...35 %, а на востоке достигает до 40...45 % из-за влияния Сибирского антициклона зимой.

Вероятность появления приподнятой инверсии в центральной части рассматриваемой территории составляет 41...45 %, а летом находится в пределах 6... 9 %.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-17-00172,
<https://rscf.ru/project/20-17-00172/>*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Акимов, Л. М.** Анализ временного распределения средних концентраций антропогенных примесей в г. Воронеже с учетом климатических показателей / Л. М. Акимов // Экология регионов: сборник материалов III юбилейной Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры экологии Владимирского государственного университета, Владимир, 2010. – С. 8-12.
2. **Акимов, Л. М.** Геоэкологическая оценка загрязнения воздушного бассейна города Воронежа автотранспортом в зависимости от состояния атмосферы / Л. М. Акимов, А. Б. Якушев, С. А. Куролап // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2011.– № 2. – С. 158-165.
3. **Акимов, Л. М.** Анализ влияния функционально-планировочной структуры города на загрязнение воздушного бассейна / Л. М. Акимов, П. М. Виноградов, Е. Л. Акимов // Экологическая оценка и картографирование состояния городской среды: сборник статей. – Воронеж: Цифровая полиграфия, 2014. – С. 55-65.
4. **Безуглая, Э. Ю.** К определению потенциала загрязнения воздуха / Э. Ю. Безуглая // Труды ГГО. – Ленинград: Издательство ГГО, 1968. – Вып. 234. – С. 69-79.
5. **Безуглая, Э. Ю.** Некоторые результаты изучения инверсий температуры для оценки потенциала загрязнения воздуха на Европейской территории СССР / Э. Ю. Безуглая, В. Г. Волошин, В. И. Дудина // Труды ГГО. – Ленинград: Издательство ГГО, 1975.– Вып. 352. – С. 78-92.
6. **Безуглая, Э. Ю.** Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов / Э. Ю. Безуглая – Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. – 184 с.
7. **Берлянд, М. Е.** Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд – Ленинград: Гидрометеиздат. – 1985. – 272 с.
8. **Сонькин, Л. Р.** Вопросы прогнозирования фоновое загрязнения атмосферы в городах / Л.Р. Сонькин // Труды ГГО. – Ленинград: Издательство ГГО. – 1974. – Вып. 314. – С. 42 – 51.
9. **Шевчук, И. А.** Повторяемость метеорологических условий, способствующих увеличению загрязнения приземного слоя атмосферы в г. Новосибирске / И. А. Шевчук, Л. И. Веденская, Т. Г. Володкевич // Труды Новосибирского региона ГМЦ. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 1969. – Вып. 2. – С. 106-109.
10. **Dickson, R. R.** Meteorological factors affecting particulate air pollution of a city / R. R. Dickson // Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS). – 1961. – Vol. 42. – No. 8. –Pp. 556 – 560.
11. **Newall, U. E.** The effect of wind speed and rainfall on the concentration of sulphur dioxide in the atmosphere / U. E. Newall, A. Eaves // Air and Water Polluted. – 1962. – Vol. 6. – No. 5.

Поступила в редакцию 7 сентября 2024

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF ATMOSPHERE STABILITY PARAMETERS IN THE CENTRAL PART OF THE RUSSIAN PLAIN

L. M. Akimov, E. L. Akimov

Leonid Musaminovich Akimov, Cand. Sc. (Geography), Associate Professor, Head of the Department of Environmental Management, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russia, tel.: +7(951)850-49-82, +7(473)266-56-54; e-mail: akl63@bk.ru

Evgeniy Leonidovich Akimov, Cand. Sc. (Geography), Associate Professor at the Department of Environmental Management, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russia, tel.: +7(473)266-56-54; e-mail: akl63@bk.ru

The article describes the spatial and temporal features of the main factors determining the dispersion of impurities in the atmosphere in the central part of the Russian Plain. The research methods are based on the geoinformation method of analyzing data from temperature and wind sensing of the atmosphere of meteorological stations located in the central part of the Russian Plain. We have determined the spatial and temporal patterns of the distribution of weak (calm) winds (0...1 m/s), as well as surface and elevated inversions in cold and warm periods and for the year as a whole. We proved the dominant role of atmospheric circulation in the spatial and temporal patterns of distribution of the main factors of pollutant dispersion in the atmosphere, as well as the significant influence of the physical and geographical characteristics of the territory. During the year, the probability of formation of a surface-based inversion varies from 30...35 % in the central part of the Russian Plain, which is due to radiation cooling of the underlying surface. In the east of the central part of the Russian Plain, the probability of formation of a surface inversion reaches up to 40...45 % due to the influence of the Siberian anticyclone in winter. The predominance of a stable state of the atmosphere with frequent inversions is characteristic of winters there.

Keywords: atmospheric stability; inversion; atmospheric stratification; wind distribution; meteorological conditions.

REFERENCES

1. **Akimov L. M.** *Analysis of the temporal distribution of average concentrations of anthropogenic impurities in the city of Voronezh, taking into account climatic indicators.* Ecology of regions: collection of materials of the III anniversary International scientific and practical conference dedicated to the 20th anniversary of the Department of Ecology of Vladimir State University. Vladimir. 2010. Pp. 8-12. (in Russian)
2. **Akimov L. M., Yakushev A. B., Kurolap S. A.** *Geoecological assessment of air pollution in the city of Voronezh by motor transport depending on the state of the atmosphere.* Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology. 2011. No. 2. Pp. 158-165. (in Russian)
3. **Akimov L. M., Vinogradov P. M., Akimov E. L.** *Analysis of the influence of the functional-planning structure of the city on air pollution.* Ecological assessment and mapping of the state of the urban environment. Voronezh, Digital printing. 2014. Pp. 55-65. (in Russian)
4. **Bezuglaya E. Yu.** *Toward determination of air pollution potential.* Proceedings of the GGO. Leningrad, GGO Publishing House. 1968. Issue. 234. Pp. 69-79. (in Russian)
5. **Bezuglaya E. Yu., Voloshin V. G., Dudina V. I.** *Some results of studying temperature inversions to assess the potential for air pollution in the European territory of the USSR.* Proceedings of the State Geological Society. Leningrad, GGO Publishing House. 1975. No. 352. Pp. 78-92. (in Russian)
6. **Bezuglaya E. Yu., Sonkin L. R.** *Meteorological potential and climatic features of urban air pollution.* Leningrad, Gidrometeoizdat. 1980. 184 p. (in Russian)
7. **Berlyand M. E.** *Forecast and regulation of air pollution.* Leningrad, Gidrometeoizdat. 1985. 272 p. (in Russian)
8. **Sonkin L. R.** *Issues of forecasting background air pollution in cities.* Proceedings of the GGO. Leningrad, GGO Publishing House. 1974. Issue 314. Pp. 42-51. (in Russian)
9. **Shevchuk I. A., Vedenskaya L. I., Volodkevich T. G.** *Recurrence of meteorological conditions contributing to an increase in pollution of the surface layer of the atmosphere in No-*

vosibirsk. Proceedings of the Novosibirsk region of the State Medical Center. Novosibirsk, Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 1969. Issue 2. Pp. 106-109. (in Russian)

10. **Dickson R. R.** *Meteorological factors affecting particulate air pollution of a city*. Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS). 1961. Vol. 42. No. 8. Pp. 556-560.

11. **Newall U. E., Eaves A.** *The effect of wind speed and rainfall on the concentration of sulphur dioxide in the atmosphere*. Air and Water Polluted. 1962. Vol. 6. No. 5.

Received 7 September 2024

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Акимов, Л. М. Пространственно-временной анализ параметров устойчивости атмосферы в центральной части Русской равнины / Л. М. Акимов, Е. Л. Акимов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 3(30). – С. 102-112. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.011.

FOR CITATION:

Akimov L. M., Akimov E. L. *Spatio-temporal analysis of atmosphere stability parameters in the central part of the Russian Plain*. Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 3(30). Pp. 102-112. DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.011. (in Russian)

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА **ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION**

DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.012

УДК 332.812.123

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВАЖНОСТИ ОБОСНОВАНИЯ ТАРИФОВ НА СОДЕРЖАНИЕ И ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ МУНИЦИПАЛЬНОГО УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ГОРОДА ВЛАДИВОСТОК

Н. С. Самарина, А. А. Гревцова, И. А. Ким, Д. С. Ульянова

Самарина Наталья Сергеевна, канд. эконом. наук, доцент кафедры экономики и управления, ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», Владивосток, Российская Федерация, тел: +7(914)691-82-08; e-mail: Natalya.Samarina@vvsu.ru

Гревцова Алина Андреевна, студент, кафедра экономики и управления, ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», Владивосток, Российская Федерация, тел: +7(924)528-66-96; e-mail: Grevtsova.Alina@vvsu.ru

Ким Ирина Артуровна, студент, кафедра экономики и управления, ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», Владивосток, Российская Федерация, тел: +7(953)222-00-46; e-mail: Irina.Kim05@vvsu.ru

Ульянова Дарья Сергеевна, студент, кафедра экономики и управления, ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», Владивосток, Российская Федерация, тел: +7(914)332-23-95; e-mail: darya.ulyanova.16@inbox.ru

Доступность и качество предоставляемых жилищно-коммунальных услуг играют ключевую роль в определении уровня жизни населения и признаются стратегической задачей для развития социальной инфраструктуры. Теоретическое обоснование тарифов на жилищно-коммунальные услуги играет ключевую роль в формировании ценовой политики любого муниципального унитарного предприятия жилищно-коммунального хозяйства. В условиях функционирования таких предприятий особенно важно точно рассчитывать стоимость услуг, чтобы они были одновременно и доступны для населения, и покрывали расходы на содержание и текущий ремонт многоквартирного дома. Рассмотрены теоретические аспекты важности обоснования тарифов на содержание и текущий ремонт на примере муниципального унитарного предприятия города Владивостока «Центральный». Представлены и проанализированы подходы к определению состава тарифов на содержание и текущий ремонт жилья, выделены достоинства и недостатки каждого подхода.

Ключевые слова: содержание и текущий ремонт; муниципальное унитарное предприятие; теоретическое обоснование тарифов, управляющая компания, жилищно-коммунальное хозяйство.

Рыночные реформы в инфраструктурных отраслях России играют ключевую роль в социально-экономическом развитии страны. Среди приоритетных направлений выделяется жилищно-коммунальное хозяйство, которое сталкивается с особыми сложностями из-за сочетания рыночных и административных механизмов управления. Жилищно-коммунальное хозяйство, являясь одной из наиболее значимых сфер экономики, оказывает существенное влияние на все стороны жизнедеятельности общества, затрагивает базовые потребности граждан и имеет прямое отношение к уровню их жизни и благополучия. Однако на пути реформирования возникают вызовы, связанные с необходимостью согласования экономических и социальных аспектов преобразований. С одной стороны, рынок должен стимулировать эффективность и конкуренцию, повышая качество и доступность услуг жилищно-коммунальных хозяйств. С другой стороны, важно сохранить социальную

ответственность, поддерживая доступность жилья и коммунальных услуг для социально незащищенных слоев населения.

Справедливо обоснованные тарифы на текущий ремонт и содержание жилья в настоящее время являются одной из главных задач жилищно-коммунального комплекса и касаются абсолютно всех граждан Российской Федерации. Жилищная политика является одним из ключевых элементов социально-экономической деятельности государства, которая оказывает существенное влияние на ситуацию в обществе. Именно от состояния жилищно-коммунального хозяйства в большей степени зависит качество сферы жизнедеятельности, иначе говоря - условия проживания граждан [1, 2].

Объектом исследования в рамках данной работы является применение тарифов на содержание и текущий ремонт жилья на примере работы муниципального унитарного предприятия города Владивостока «Центральный». Основной вид деятельности компании – управление эксплуатацией жилого фонда за вознаграждение или на договорной основе (код ОКВЭД 68.32.1). Целью муниципального унитарного предприятия города Владивостока «Центральный» является обеспечение гражданам качественного и комфортного проживания, создании условий для улучшения их жизни и повышения общественной значимости.

Управление многоквартирным домом должно обеспечивать благоприятные и безопасные условия проживания граждан, надлежащее содержание общего имущества в многоквартирном доме, решение вопросов пользования указанным имуществом, а также предоставление коммунальных услуг гражданам, проживающим в таком доме [Жилищный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 188-ФЗ (ред. от 06.04.2024, с изм. от 25.04.2024)].

Ссылаясь на Приказ Госстроя России от 28.12.2000 №303: «Жилищные права граждан, включая содержание и ремонт жилья, а также предоставление коммунальных услуг, должны соответствовать возможностям их реализации, как за счет рыночных механизмов, так и за счет бюджетной поддержки».

Все услуги предоставляются управляющей компанией – юридическим лицом, обязанность которой предоставление услуг надлежащего качества с соблюдением всех требований законодательства Российской Федерации. Для выполнения своих обязанностей организации необходима государственная поддержка и добросовестная оплата от жильцов, которая поступает своевременно. В условиях постоянного увеличения стоимости ресурсов, возрастающих требований со стороны потребителей, а также обновления действующих систем реализации услуг ресурсно-снабжающими организациями, управление и планирование себестоимости являются неотъемлемой частью деятельности организаций жилищно-коммунального хозяйства [3].

Если в поддержке государства организация может быть уверена, то с платежеспособностью населения такая уверенность отсутствует. Сталкиваясь с финансовыми трудностями, люди пытаются избежать оплаты за предоставляемые услуги.

Для обеспечения устойчивой работы необходим экономически обоснованный тариф, который обеспечит компенсацию понесенных расходов и приведет к получению прибыли.

Серьезной проблемой для многих регионов России до сих пор остается ветхое и аварийное жилье. Несмотря на имеющиеся рекомендуемые сроки службы и эксплуатации зданий и сооружений, согласно ГОСТ 27751-2014 от 01 июля 2015 г., при возникновении вопросов о сроках эксплуатации дома все же обращают внимание на его внешний вид (фундамент, несущие конструкции, санитарно-технические системы), состояние жилья, его экономическую целесообразность и культурно-историческую ценность [4]. Следует отметить, что общий объем жилищного фонда, требующий капитального ремонта либо сноса, все-таки весьма значителен и представляет серьезную социально-экономическую проблему. При всеобщем росте цен удержание тарифов на коммунальные услуги привело к образованию значительных убытков предприятий коммунального сектора по всей Рос-

сии [5, 6].

Муниципальное унитарное предприятие города Владивосток «Центральный» в основном осуществляет обслуживание жилого фонда, к которому относятся малоквартирные, неблагоустроенные дома, а также многоквартирные дома, признанные аварийными и подлежащими сносу, в которых отсутствуют управляющие организации ввиду низкой рентабельности за оказываемые услуги по содержанию и текущему ремонту общего имущества. В табл. 1 приведена информация о домах, находящиеся под управлением МУПВ «Центральный».

Таблица 1

Дома, находящиеся под управлением МУПВ «Центральный»

Информация о домах	2022		2023		Изменение	
	Количество домов	Площадь домов, м ²	Количество домов	Площадь домов, м ²	Количество домов	Площадь домов, м ²
Дома под управлением (Лицензия)	285	376 324	303	400 092	+18	+23 768
Под непосредственным управлением	50	25 112	44	22 098	-6	-3 014
Аварийное обслуживание	187	106 136	195	110 675	+8	+4 539
Административные здания	5	13 982	5	13 982	0	0
Итого	527	507 572	547	532 865	+20	+25 293

Ввиду низкой рентабельности, а зачастую убыточности за оказанные услуги по содержанию и текущему ремонту общего имущества управляющие организации, оказывающие услуги по обслуживанию многоквартирных домов отказываются принимать вышеуказанные многоквартирные дома, которые и передаются на обслуживание МУПВ «Центральный», в соответствии постановлением Правительства от 21.12.2018 № 1616 «Об утверждении правил определения управляющей организации для управления многоквартирным домом, в отношении которого собственниками помещений в многоквартирном доме не выбран способ управления таким домом или выбранный способ управления не реализован, не определена управляющая организация, и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации». При этом стоит отметить, что до сих пор не существует актуальной базы укрупненных сметных нормативов, позволяющих оперативно определять ориентировочную стоимость тарифов на содержание и текущий ремонт многоквартирных домов [7].

Тарифы по многоквартирным домам, которые находятся под управлением МУПВ «Центральный», регулируются Постановлением от 21 ноября 2005 года № 1520 «Об утверждении размеров платы за содержание и ремонт жилого помещения». Однако, данные тарифы в условиях реальной экономической обстановки являются заниженными и не соответствуют себестоимости оказываемых услуг, что негативно отражается на финансовом состоянии предприятия. Справедливо экономически обоснованный тариф является важным мероприятием для предприятия, так как основным источником дохода является оплата собственниками жилых помещений за содержание и ремонт общего имущества в многоквартирном доме.

Реализация установленных мероприятий представляет собой сложную задачу, однако её необходимость очевидна из-за больших различий в тарифах на содержание и текущий ремонт жилья для многоквартирных домов. Важно подчеркнуть, что в использованных тарифах не отражается реальная себестоимость предоставляемых услуг, что порождает ряд проблем и несоответствий.

Рассмотрим конкретный пример, иллюстрирующий эту проблематику. На одном земельном участке площадью 4 000 квадратных метров расположен относительно небольшой двухэтажный дом, включающий 20 квартир. На втором участке такой же площади находится значительно более крупный 26-этажный жилой комплекс, который, хотя и занимает аналогичную площадь застройки, включает в себя 400 квартир.

Данные многоквартирные дома, несмотря на кардинальное различие в численности жильцов и, соответственно, разную степень износа и загрязнения придомовой территории, облагаются одинаковыми тарифами за услуги уборки. Таким образом, площадь уборки и стоимость услуг остаются неизменными, что является явно несправедливым и иррациональным с экономической точки зрения. В результате доходы от предоставления услуг сильно различаются между этими двумя домами, создавая финансовый дисбаланс и неэффективное распределение ресурсов. Это противоречие между уровнем обслуживания, его стоимостью и реальным объемом необходимых работ подчеркивает критическую необходимость разработки методических указаний на содержание и текущий ремонт, которые должны включать в себя анализ и учет реальной себестоимости работ, норм износа инфраструктуры, а также фактической загруженности жилых комплексов.

Эти меры позволят создать более справедливую и экономически обоснованную систему оплаты услуг, которая будет способствовать улучшению качества жизни жильцов и эффективному управлению жилфондом.

Эффективная тарифная политика, в свою очередь, обеспечивает условия для:

- ✓ реального финансирования жилищной сферы с переходом на бездотационное функционирование и развитие конкуренции;

- ✓ последовательного и прогнозируемого изменения тарифов, что делает возможным предсказуемость деятельности хозяйствующих субъектов – подрядчиков, повышает их инвестиционную привлекательность;

- ✓ реальной и «прозрачной» структуры стоимости услуг по содержанию и ремонту жилья с учетом всех составляющих, включая накопление на капитальный ремонт и затраты по страхованию.

Совершенствование тарифной политики в ЖКХ должно включать в себя комплекс мер, направленных на снижение затрат поставщиков услуг, приведение тарифов в соответствие с реальной стоимостью услуг, обеспечение социальной ответственности и внедрение дополнительных мер для повышения эффективности и прозрачности ценообразования в данном секторе [8, 9].

Учитывая значительную долю малоимущего населения в старом жилищном фонде, перед муниципальным унитарным предприятием жилищно-коммунального хозяйства стоит задача предоставить перечень услуг при невозможности жителей оплачивать эти услуги в полном объеме. Со слов Ирека Файзуллина, который является министром строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации: «Изношенность коммунальной инфраструктуры – одна из ключевых проблем в сфере ЖКХ, в каких-то регионах показатель доходит до 80 процентов, в среднем по стране – 40 процентов».

Теоретическая значимость статьи заключается в определении принципов, на основании которых формируется тариф по текущему ремонту и содержанию жилья.

Согласно Приказа Госстроя России «Об утверждении методических рекомендаций по финансовому обоснованию тарифов на содержание и ремонт жилищного фонда» от 18.12.2000 №303, регулируемый тариф – цена, складывающаяся на рынке жилищно-коммунальных услуг при воздействии экономических и административных методов, в том числе путем установления предельной или фиксированной величины.

Существует несколько подходов к определению состава тарифов на содержание и текущий ремонт жилья:

- 1) по нормативному методу – тарифы устанавливаются на основе расчета затрат на содержание и текущий ремонт жилья исходя из установленных нормативов и стандартов.

Главным преимуществом данного метода является то, что при его помощи можно установить связь ресурсов с конечными результатами производства;

2) по договорному методу – тарифы устанавливаются на основе заключенных договоров с поставщиками услуг (например, поставщики воды, электроэнергии и т. д.) и регулирования их цен;

3) по рыночным принципам – тарифы устанавливаются на основе спроса и предложения на рынке жилищно-коммунальных услуг.

Рассмотрим подробнее нормативный метод к определению состава тарифа. Орган местного самоуправления, зная низкую платежеспособность граждан, назначает тарифы своим постановлением, ориентируясь на нормативный метод. Зачастую, величина данного тарифа не соответствует действительности из-за использования устаревшей нормативной базы, которая лежит в основе при расчете цены на текущий ремонт и содержание жилья. Для того чтобы тариф соответствовал понесенным затратам и оправдывал деятельность предприятия, необходимо пересмотреть рекомендации по нормативам работы штатных сотрудников, а также проанализировать затраты на содержание и ремонт жилья, учесть инфляцию и т.д. Кроме того, могут применяться специальные методики, разработанные соответствующими органами власти или жилищно-коммунальными службами.

Далее рассмотрим формирование тарифа по рыночным принципам. В случае муниципальной управляющей компании, которая обеспечивает жителей города или района коммунальными услугами (водоснабжение, отопление, вывоз мусора и т. д.), существуют особенности, которые делают рыночный принцип несостоятельным: учитываются социальные аспекты при формировании тарифов для коммунальных услуг, чтобы обеспечить доступность и приемлемость цен для всех категорий населения, включая малообеспеченные слои населения.

Государство обычно регулирует деятельность муниципальных управляющих компаний, устанавливая определенные правила и ограничения для формирования тарифов, чтобы защитить интересы потребителей. Из-за этих особенностей муниципальные управляющие компании часто используют иные методы формирования тарифов, такие как утверждение тарифов регулирующим органом или учет социальных аспектов при их установлении.

Договорной метод формирования тарифа на содержание и текущий ремонт жилья может не подходить для муниципальной управляющей компании по следующим причинам: данный метод может привести к недостаточной прозрачности в процессе формирования тарифов, что может вызвать недоверие со стороны потребителей и общественности;

Также в условиях договорного метода может быть сложно обеспечить эффективный контроль за процессом формирования тарифов и их справедливостью, муниципальные управляющие компании часто работают в условиях высокой социальной ответственности перед населением. Договорный метод формирования тарифов может не учитывать социальные аспекты и интересы потребителей.

В табл. 2 представлены достоинства и недостатки каждого подхода к определению состава тарифа на текущий ремонт и содержание жилья.

Рассмотрев три подхода к определению состава тарифов для муниципальных унитарных предприятий жилищно-коммунального хозяйства, можно сделать вывод о том, что договорной метод и метод по рыночным принципам меньше всего используется на практике при определении состава тарифа. А следовательно, для муниципальных управляющих компаний более подходящим методом формирования тарифов может быть нормативный метод, который предусматривает участие государственных органов в установлении тарифов и обеспечивает баланс интересов всех сторон: потребителей, предприятий и государства.

Постоянное изменение требований и их рост к управляющей компании, а также возложение на них дополнительных обязанностей и ответственности, таких как: размещение

информации в Государственную информационную систему жилищно-коммунального хозяйства, обследование домов и помещений собственников на предмет пожарной безопасности, фиксация шумов в квартирах и так далее, требует привлечения дополнительных финансовых средств, зачастую в гораздо большем объеме, чем средства, затраченные на содержание и текущий ремонт многоквартирного дома.

Таблица 2

Анализ подходов к определению состава тарифа
на текущий ремонт и содержание жилья

Наименование метода	Достоинства	Недостатки
Нормативный метод	<p><i>Прозрачность:</i> метод основан на утвержденных нормативных документах и правилах, что делает процесс определения тарифов более прозрачным и понятным для всех сторон;</p> <p><i>Стабильность:</i> нормативы обычно устанавливаются на длительный срок, что обеспечивает стабильность для предприятий и потребителей;</p> <p><i>Справедливость:</i> нормативный метод позволяет учитывать различные аспекты, такие как себестоимость, прибыль и другие факторы, что способствует более справедливому распределению затрат между участниками рынка.</p>	<p><i>Ограничения гибкости:</i> нормативы могут ограничивать гибкость предприятий в управлении своими затратами и доходами, что может затруднять адаптацию к изменяющимся условиям рынка;</p> <p><i>Возможность недооценки или переоценки затрат:</i> нормативы могут быть установлены на основе усредненных данных, что может привести к недооценке или переоценке реальных затрат предприятий;</p> <p><i>Возможность политического влияния:</i> процесс установления нормативов может подвергаться политическому влиянию, что может повлиять на объективность и справедливость установленных тарифов.</p>
Договорной метод	<p><i>Гибкость:</i> метод позволяет сторонам договориться о конкретных условиях и составе тарифа, учитывая индивидуальные особенности предприятий и потребностей клиентов;</p> <p><i>Адаптивность:</i> стороны могут легко изменять условия договора в случае изменения рыночных условий или других факторов, что способствует более эффективному управлению затратами и доходами;</p> <p><i>Стимулирование конкуренции:</i> договорный метод может способствовать появлению конкуренции между поставщиками услуг, что может привести к повышению качества услуг и снижению цен для потребителей.</p>	<p><i>Несправедливость:</i> более сильная сторона в переговорах может диктовать условия договора, что может привести к несправедливому распределению затрат между участниками рынка;</p> <p><i>Неопределенность:</i> договорный метод может быть менее прозрачным, чем нормативный, и стороны могут иметь разные интерпретации условий договора, что может привести к конфликтам;</p> <p><i>Риски:</i> в случае несоблюдения условий договора или изменения рыночных условий, стороны могут столкнуться с рисками, связанными с финансовыми потерями или судебными разбирательствами.</p>

Окончание табл. 2

Наименование метода	Достоинства	Недостатки
Метод по рыночным принципам	<p><i>Эффективность:</i> рыночный метод позволяет определить цену на основе спроса и предложения, что может способствовать более эффективному использованию ресурсов и стимулировать конкуренцию между поставщиками услуг;</p> <p><i>Прозрачность:</i> цены, установленные на основе рыночных принципов, могут быть более прозрачными и понятными для потребителей, что способствует улучшению доверия к рынку и уменьшению возможности монопольного поведения;</p> <p><i>Гибкость:</i> рыночный метод позволяет быстро реагировать на изменения спроса и предложения, что может помочь адаптироваться к изменяющимся рыночным условиям.</p>	<p><i>Несправедливость:</i> рыночные цены могут быть несправедливыми для некоторых потребителей, особенно для тех, кто находится в уязвимом положении или не имеет возможности выбора поставщика услуг;</p> <p><i>Нестабильность:</i> рыночные цены могут колебаться в зависимости от различных факторов, таких как изменения спроса, предложения, валютного курса и других, что может создавать нестабильность для потребителей и поставщиков услуг;</p> <p><i>Риск монопольного поведения:</i> в некоторых случаях рыночные цены могут быть диктованы монополистическими структурами, что может привести к ограничению конкуренции и повышению цен для потребителей.</p>

Заключение.

Рассмотрены теоретические аспекты важности обоснования тарифов и выделены три основных подхода к составу тарифа на содержание и текущий ремонт многоквартирного дома.

Проведён анализ методов определения тарифов для населения, выявлены их преимущества и недостатки. Использование основных подходов к составу тарифа поможет для обоснования прозрачного и экономически выгодного тарифа на содержание и текущий ремонт муниципальных унитарных предприятий жилищно-коммунальных хозяйств как города Владивосток, так и Дальневосточного региона в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Талатунов, А. Н. Анализ тарифного регулирования в сфере жилищно-коммунальных хозяйств / А. Н. Талатунов, А. С. Барабанов // Социальное развитие. – 2011. – № 6(18). – С. 106-118.
2. Мосякина, К. Е. Современные проблемы жилищно-коммунального хозяйства / К. Е. Мосякина // Аллея науки. – 2018. – Т. 6. – № 6(22). – С. 439-444.
3. Крылова, А. М. Methodological peculiarities of housing and communal services prime cost planning / А. М. Крылова // Недвижимость: экономика, управление. – 2023. – № 2. – С. 39-44.
4. Озерова, Н. И. Современное состояние жилищного фонда в российской федерации и перспективы его развития / Н. И. Озерова, Т. Е. Соловьева, И. Ю. Чубаркина // Экономика и предпринимательство. – 2018. – № 4(93). – С. 908-913.
5. Плеслов, Н. И. Социально-экономические тенденции современного этапа государственной жилищной политики / А. А. Плеслов // Экономика и предпринимательство. – 2018. – № 6(95). – С. 121-125.
6. Туаршева, Б. Ю. К вопросу о тарифной политике в сфере жилищно-

коммунального хозяйства / Б. Ю. Туаршева // Экономический вестник Ростовского Государственного Университета. – 2008. – № 4(30). – С. 156-158.

7. **Клюев, В. Д.** К вопросу о планировании текущего ремонта зданий и сооружений / В. Д. Клюев, Д. А. Зайцев, В. В. Жуков // Нормирование и оплата труда в строительстве. – 2019. – №3. – С. 5-9.

8. **Терешина, В. В.** Формирование ценовой политики на рынке жилищно-коммунальных услуг / В. В. Терешина // Менеджмент и маркетинг: опыт и проблемы : сборник научных трудов. – 2012. – С. 283-286.

9. **Яркин, Е. В.** Тарифная политика в Российской Федерации в отраслях коммунальной сферы: приоритеты, проблемы, перспектива : докл. к XXIV Ясинской (Апрельской) междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2023 г. / науч. ред. Е. В. Яркин. Москва: Издательский дом Высшей школы экономики, 2023. – 54 с.

Поступила в редакцию 8 мая 2024

THEORETICAL ASPECTS OF THE IMPORTANCE OF JUSTIFICATION OF TARIFFS FOR MAINTENANCE AND CURRENT REPAIR OF MUNICIPAL UNITARY ENTERPRISE OF THE CITY OF VLADIVOSTOK

N. S. Samarina, A. A. Grevtsova, I. A. Kim, D. S. Ulyanova

Natalia Sergeevna Samarina, Cand. Sc. (Econ.), Associate Professor at the Department of Economics and Management, Vladivostok State University, Vladivostok, Russia, tel.: +7(914)691-82-08; e-mail: Natalya.Samarina@vvsu.ru

Grevtsova Alina Andreevna, student, Department of Economics and Management, Vladivostok State University, Vladivostok, Russia, tel.: +7(924)528-66-96; e-mail: Grevtsova.Alina@vvsu.ru

Irina Arturovna Kim, student, Department of Economics and Management, Vladivostok State University, Vladivostok, Russia, tel.: +7(953)222-00-46; e-mail: Irina.Kim05@vvsu.ru

Daria Sergeevna Ulyanova, student, Department of Economics and Management, Vladivostok State University, Vladivostok, Russia, tel.: +7(914)332-23-95; e-mail: darya.ulyanova16@inbox.ru

The availability and quality of housing and communal services have a key role in determining the living standards of the population and are recognized as a strategic task for the development of social infrastructure. Theoretical justification of tariffs for housing and communal services has a vital role in the formation of pricing policy of any municipal unitary enterprise of housing and communal services. In the conditions of functioning of such enterprises it is especially important to accurately calculate the cost of services so that they were both affordable to the population and covered the costs of maintenance and current repair of the apartment building. This article considers theoretical aspects of the importance of justification of tariffs for maintenance and current repair on the example of Vladivostok *Tsentrally* municipal unitary enterprise. We present and analyze the approaches to determining the composition of tariffs for maintenance and current repair of housing; and we as well highlight the advantages and disadvantages of each approach.

Keywords: maintenance and current repair; municipal unitary enterprise; theoretical justification of tariffs; management company; housing and communal economy.

REFERENCES

1. **Talatunov A. N., Barabanov A. S.** *Analysis of tariff regulation in the sphere of housing and communal services.* Social Development. 2011. No. 6(18). Pp. 106-118. (in Russian)
2. **Mosyakina K. E.** *Modern problems of housing and communal services.* Alley of Science. 2018. Vol. 6. No. 6(22). Pp. 439-444. (in Russian)

3. **Krylova A. M.** *Methodological peculiarities of housing and communal services prime cost planning*. Real estate: economics, management. 2023 No. 2. Pp. 39-44. (in Russian)
4. **Ozerova N. I., Solovyova T. E., Chubarkina I. Y.** *Modern state of the housing fund in the Russian Federation and prospects for its development*. Economics and Entrepreneurship. 2018. № 4(93). Pp 908-913. (in Russian)
5. **Pleslov N. I.** *Socio-economic trends of the modern stage of the state housing policy*. Economics and Entrepreneurship. 2018. No. 6(95). Pp 121-125. (in Russian)
6. **Tuarsheva B. Y.** *On the question about the tariff policy in the sphere of housing and communal services*. Economic Bulletin of Rostov State University. 2008. No. 4(30). Pp 156-158. (in Russian)
7. **Klyuev V. D. Zaitsev D. A., Zhukov V. V.** *To the question about planning of the current repair of buildings and structures*. Norming and payment of labor in construction. 2019. No. 3. Pp 5-9. (in Russian)
8. **Tereshina V. V.** *Formation of pricing policy in the market of housing and communal service*. Management and marketing: experience and problems. Collection of scientific papers. 2012. Pp 283-286. (in Russian)
9. **Yarkin, E.V.** *Tariff policy in the Russian Federation in the sectors of the communal sphere: priorities, problems, prospects*. Report to the XXIV Yasin (April) international scientific conf. on the problems of economic and social development, Moscow, 2023 / ed. by E. V. Yarkin. Moscow, Publishing house of the Higher School of Economics. 2023. 54 p. (in Russian)

Received 8 May 2024

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Теоретические аспекты важности обоснования тарифов на содержание и текущий ремонт муниципального унитарного предприятия города Владивосток / Н. С. Самарина, А. А. Гревцова, И. А. Ким, Д. С. Ульянова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 3(30). – С. 113-121. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.012.

FOR CITATION:

Samarina N. S., Grevtsova A. A., Kim I. A., Ulyanova D. S. *Theoretical aspects of the importance of justification of tariffs for maintenance and current repair of municipal unitary enterprise of the city of Vladivostok*. Housing and utilities infrastructure. 2024. No. 3(30). Pp. 113-121. DOI 10.36622/2541-9110.2024.30.3.012. (in Russian)

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ **WRITING RULES AND GUIDELINE**

Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства. Периодичность издания – 4 раза в год.

Издание включено в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук с 22.12.2020 г.

Статьи в журнале публикуются бесплатно.

Осуществляется подписка на журнал «Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура». Подписной индекс в «Каталоге периодических изданий. Газеты и журналы» ГК «Урал Пресс» – **81025. Физические лица могут оформить подписку в интернет-магазине «Деловая пресса»** <http://www.ural-press.ru/dlya-fizicheskikh-lits/>

Отдельные экземпляры журнала можно приобрести в редакции по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ВГТУ, кафедра жилищно-коммунального хозяйства, каб. 1321.

О наличии необходимого номера можно узнать по телефону +7(473)271-28-92 или по e-mail: vstu.gkh@gmail.com.

Рукопись представляется в редакцию *на русском языке*. В том случае, если зарубежные авторы присылают статьи *на английском языке*, необходимо предоставить *точный перевод на русский язык*.

К публикации принимаются материалы статьи, в которых приводятся результаты собственных научных (теоретических и/или экспериментальных) исследований авторов (кроме обзорных статей), соответствующие по своей тематике профилю и тематическим направлениям журнала.

Материалы статьи принимаются в электронном виде на адрес редакции vstu.gkh@gmail.com. Автор присылает:

- ✓ файл текста статьи;
- ✓ отсканированная последняя страница с датой отправки статьи и подписями всех авторов (рядом с подписью указывается фамилия и инициалы автора);
- ✓ экспертное заключение о возможности открытого опубликования, заверенное печатью и подписью ответственного лица.

После принятия статьи к публикации автор высылает оригинал рукописи в редакцию журнала по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ком. 1321, Воронежский государственный технический университет, кафедра жилищно-коммунального хозяйства.

Об отказе в публикации статьи по формальным признакам авторы информируются редакцией по электронной почте с изложением причины отказа.

Требования к оформлению статьи

Рукопись должна готовиться в редакторе Microsoft Word для Windows (версии от XP до Word 97/10). Текст набирают шрифтом Times New Roman размером 12 пт с межстрочным интервалом 1, абзацный отступ 1 см. Размер листа А4; поля: левое – 3 см, правое – 1,5 см, верхнее – 2 см, нижнее – 2,5 см. Нумерация страниц не требуется. Объем 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 почетные 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** объемом от 200 до 250 слов, выравнивание по ширине, отступ слева и справа 1 см (шрифт 11 пт, обычный);

✓ **ключевые слова** от 5 до 12 слов, указывающие на принципиально важные объекты и особенности исследования, отделяются друг от друга точкой с запятой, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **текст статьи** (в тексте статьи должны быть отражены: актуальность проблемы, оценка степени ее разработанности, цели, задачи и методы решения научной задачи, полученные результаты). В конце статьи обязательно приводится **заключение**.

При оформлении текста статьи следует придерживаться следующих требований:

✓ русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) в тексте, формулах, подписях к рисункам и в таблицах набираются прямым шрифтом; латинские буквы – курсивом;

✓ в статье должен быть необходимый минимум формул, которые:

❖ следует набирать шрифтом Times New Roman в редакторе формул MS Equation или MathType;

❖ начинать с красной строки;

❖ располагать по центру и нумеровать арабскими цифрами в скобках у правого края страницы;

❖ ссылки на формулы в тексте – арабскими цифрами в скобках;

✓ рисунки и таблицы должны быть пронумерованы и добавлены в текст после первого упоминания;

✓ до и после рисунка и таблицы необходимо сделать пробел (шрифт 12 пт);

✓ иллюстрации представляются в редакцию

❖ в виде отдельных файлов (рисунков и фотографий), записанных с расширением .TIFF или .JPEG; линии чертежа – не тоньше 1 пт; иллюстрации, в том числе фотографии, должны иметь хорошую проработку деталей;

❖ подписи к рисункам нумеруются и располагаются под ними, выравнивание текста по центру (шрифт 10 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ таблицы оформляются следующим образом:

❖ шрифт выбирается автором самостоятельно с учетом возможности качественного чтения текста;

❖ наименования в таблицах даются полностью, без сокращения слов;

❖ номер таблицы располагается отдельно, выравнивание текста по правому краю (шрифт 10 пт, обычный);

❖ название таблицы размещается над таблицей, выравнивание текста по центру (шрифт 11 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**, составляемый по следующим правилам;

❖ список используемой литературы должен включать не менее 10 источников;

❖ шрифт 12 пт, выравнивание текста по ширине, абзацный отступ 1 см;

❖ в список включаются *только опубликованные работы*, в порядке упоминания в статье; ссылки на них в тексте статьи даются арабскими цифрами в квадратных скобках;

❖ в списке не должно быть нормативных документов (ГОСТ, СП, технических регламентов, правовых актов и т.п. неавторизованных источников) – ссылки на них даются в тексте статьи в развернутом виде или в форме подстраничных сносок;

❖ библиографические описания оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003; включенные в текст статьи или подстраничные библиографические ссылки следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008;

❖ ссылки на интернет-сайты не допускаются; для статей из зарегистрированных *электронных журналов* указываются фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, выходные данные выпуска, адрес сайта журнала и дата обращения к электронному ресурсу;

англоязычная часть:

✓ **название статьи;**

✓ **инициалы, фамилии авторов**, выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);

✓ **сведения об авторах** – последовательно для каждого: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученые звания, должность, название организации (учреждения), города, страны, контактный телефон; e-mail автора; выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **аннотация:** перевод, идентичный русскому варианту;

✓ **ключевые слова** (Keywords);

✓ **библиографический список** (REFERENCES).

ISSN 2541-9110



9 772541 911039